



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



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



PROVINCIA
DI REGGIO EMILIA

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

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLE SCARPATE DI MONTE DELLA S.P.57 AL KM 2+400 IN COMUNE DI VETTO

PROGETTO ESECUTIVO

6.1b ANALISI GEOMECCANICA E STRUTTURALE DELLA PARETE ROCCIOSA

Dirigente del Servizio Infrastrutture,
Mobilità sostenibile e Patrimonio:

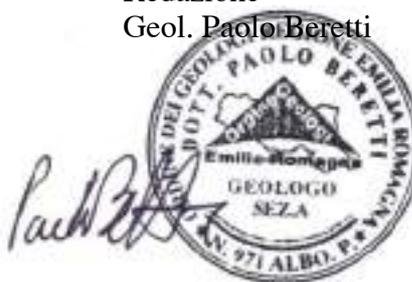
Ing. Valerio Bussei

Redazione

Geol. Paolo Beretti

Responsabile Unico del Progetto:

Ing. Maurizio La macchia



REVISIONE			Redatto		Verificato o Validato	
Revis.	Data Revis.	Descrizione Modifiche	Data	Nome	Data	Nome
All. n°	Data Progetto	N° P.E.G.	Nome File			
B1	Marzo 2025		All B1_6.1b Analisi geomecc parete			



**Dott. Geol.
PAOLO BERETTI**

Geologia Applicata e Geotecnica
Consulenze e Controlli Ambientali

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

Committente: Ing. Giuseppe Herman

**Provincia di Reggio Emilia
Comune di Vetto**



**Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in
corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)**

RAPPORTO GEOLOGICO, GEOMECCANICO E STRUTTURALE



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

INDICE

INDICE.....	1
PARTE INTRODUTTIVA.....	3
Premessa.....	3
Inquadramento territoriale.....	3
Principali strumenti cartografici territoriali di carattere geologico e geomorfologico.....	3
PSC del Comune di Castelnovo ne' Monti.....	5
Carta inventario delle frane dell'Emilia Romagna (2018).....	5
Vincolo idrogeologico.....	6
Piano e metodologia d'indagine.....	7
Rilevamento geologico strutturale.....	7
RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO.....	8
Inquadramento geologico e strutturale.....	8
Inquadramento geomorfologico.....	10
Inquadramento idrologico e idrogeologico del sito.....	11
Pericolosità idraulica dell'area (d.g.r. 1300/2016).....	11
Inquadramento topografico.....	13
Storia sismica del sito.....	13
Identificazione categoria suolo di fondazione.....	15
Classe dell'opera: Azione sismica e pericolosità sismica di base.....	16
Azione sismica di progetto.....	16
Fattore di amplificazione stratigrafico (D.M. 17/01/2018).....	17
Fattore di amplificazione topografico (D.M. 17/01/2018).....	17
Principali coefficienti di accelerazione sismica.....	17
Analisi Suscettibilità alla Liquefazione.....	17
Rilevamento strutturale e geomeccanico: approccio teorico.....	18
Classificazione dell'ammasso roccioso: metodi di classificazione utilizzati.....	18
Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky).....	18
Rock Mass Rating (RMR) Modificato (Sen).....	20
Geological Strength Index (GSI, Hoek).....	21
Parametri geomeccanici relativi all'ammasso roccioso.....	22
Criterio di rottura di Hoek-Brown per gli ammassi rocciosi.....	22
Il criterio di Hoek-Brown nella formulazione ultima.....	24
Il criterio di Bieniawski – Sen.....	25
Parametri geomeccanici relativi alle discontinuità.....	25
Analisi cinematica dei blocchi rocciosi.....	27
Rilevamento strutturale e geomeccanico eseguito.....	29
Tecnica di Rilevamento dei dati strutturali e geomeccanici.....	29
Tipi di rilevamento eseguiti.....	29
Strumenti utilizzati e dati raccolti.....	30
Giacitura del fronte e delle discontinuità.....	30
Tipo ed analisi della discontinuità.....	32
Spaziatura dei giunti rilevati.....	32

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-----------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Persistenza dei giunti.....	32
Apertura, Forma e Riempimento delle discontinuità.....	33
Terminazione della discontinuità	34
Eventuale presenza di acqua (su ammasso roccioso e discontinuità).....	34
Scabrezza delle discontinuità.....	35
Resistenza a compressione monoassiale su discontinuità (ove possibile) e ammasso roccioso.....	36
PRESENTAZIONE ED ANALISI DEI DATI RILEVATI.....	38
descrizione geologica e litostratigrafica del sito di rilevamento.....	38
Rilevamenti strutturali e analisi di dati strutturali.....	38
Considerazioni generali sulle famiglie di discontinuità rilevate.....	57
Persistenza e Spaziatura	57
Resistenza a Compressione Monoassiale.....	60
Scabrezza delle discontinuità.....	60
Considerazioni idrogeologiche	60
Caratterizzazione dell'Ammasso roccioso – Parametri geomeccanici	60
Dati geomeccanici delle famiglie di discontinuità rilevate.....	61
Analisi di stabilità cinematica.....	61
definizione del blocco di progetto e spessore della coltre.....	63
Ipotesi di consolidamento della parete rocciosa.....	65
ALLEGATI.....	67

PARTE INTRODUTTIVA

PREMESSA

Nell'ambito delle elaborazioni progettuali relative alla sistemazione e messa in sicurezza del tratto stradale della S.P. 57 "Vetto – Ramiseto" al km 2+400, in località Pianello di Vetto (RE), interessata da fenomeni di alterazione della scarpata e processi di crollo, su commissione dell'Ing. **Giuseppe Herman**, si è effettuata l'indagine geologico, geomeccanica e strutturale oggetto della presente relazione.

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La zona in esame si ubica nel comparto centro occidentale del territorio comunale di Vetto, in prossimità dei toponimi Sole di sotto e Ca' di Ruffini.

Dal punto di vista morfologico, il sito si colloca a monte dei terrazzi fluviali depositati dal T. Lonza, il quale, attualmente, lambisce ed incide le porzioni basali di due versanti mediamente acclivi. Le quote topografiche oscillano mediamente tra e 362,0 e 363,0 m s.l.m. (*quota dal piano stradale*).

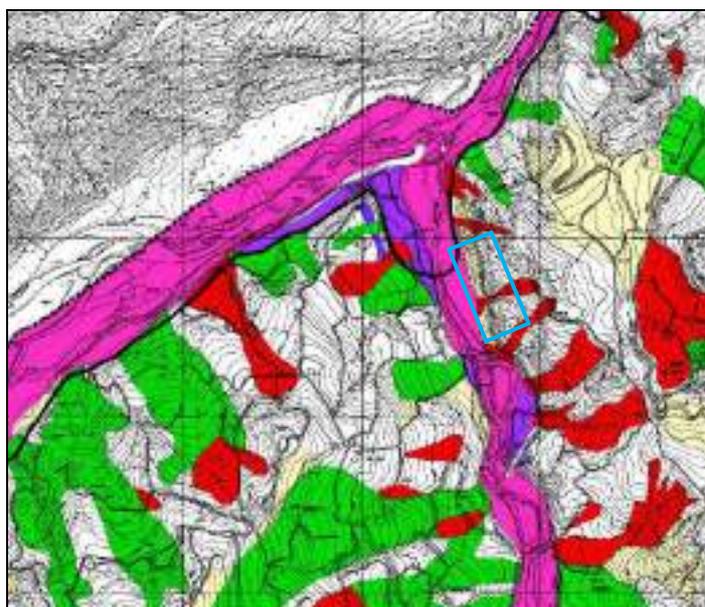
Cartografia di riferimento:

Foglio 1:50000	217	Neviano degli Arduini
Tavola 1:25000	217SE	Ramiseto
Sezione 1:10000	217120	Ranzano
Elemento 1:5000	217122	Gottano

PRINCIPALI STRUMENTI CARTOGRAFICI TERRITORIALI DI CARATTERE GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Carta inventario del dissesto

Le perimetrazioni della "Carta Inventario del dissesto (PAI-PTCP) e degli abitati da consolidare e trasferire (L445/1908), allegato P6 – sez. 217120", collocano il sito in analisi in corrispondenza della porzione medio – basale di un versante mediamente acclive, lungo sul quale insistono movimenti franosi, attualmente classificati in stato di attività (Fa) e depositi di versante (a3).



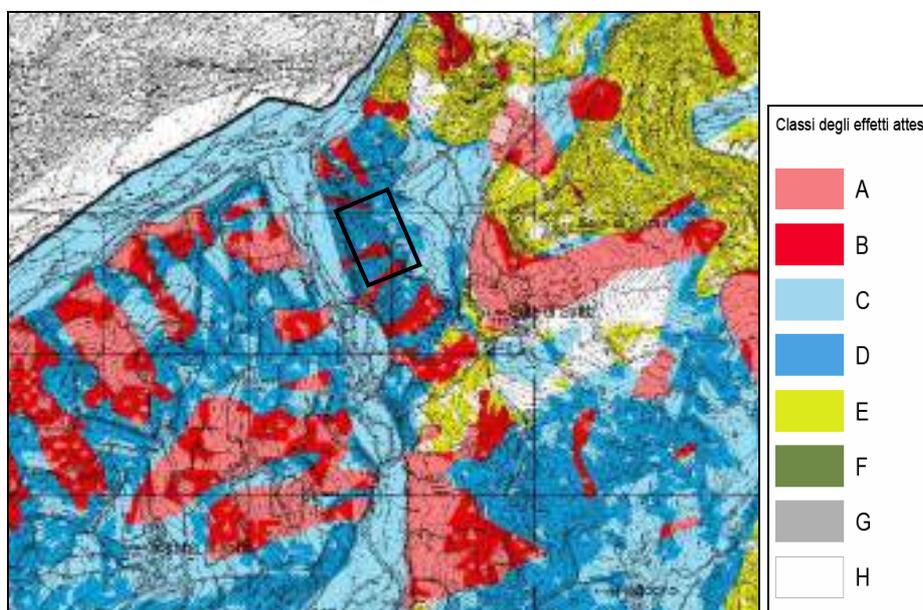
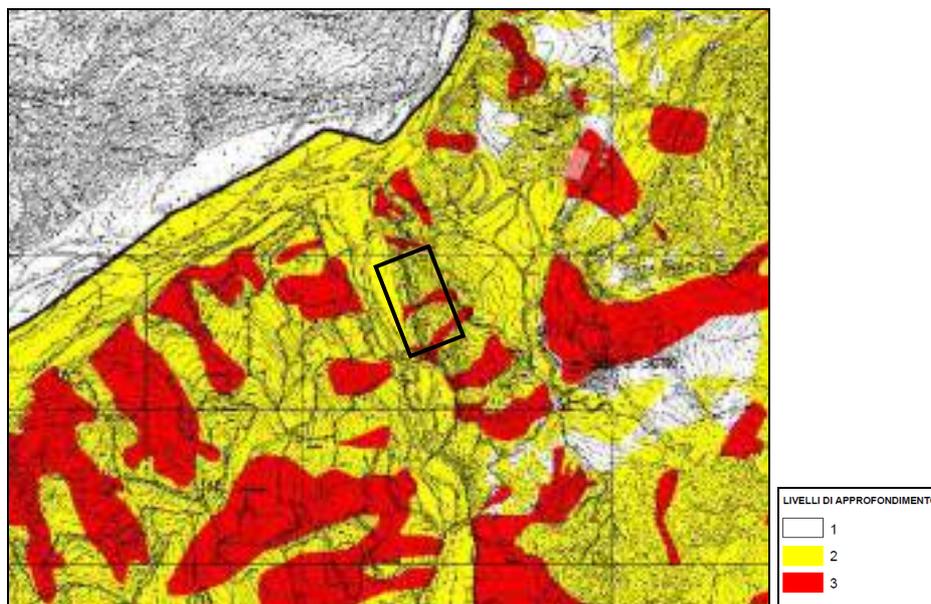
Carta Inventario del Dissesto		PAI
	Frane attive (a1)	Fa
	Frane di crisi (a6)	Fa
	Frane quiescenti (a2)	Fc
	Frane quiescenti parzialmente erose (a2a)	Fc
	Scioglimenti in blocco (sb)	Fc
	Frane stabilizzate	Fs
	Depositi alluvionali in evoluzione (b1)	Ee
	Depositi alluvionali in evoluzione parzialmente fissati da vegetazione (b1a)	Ee
	Depositi alluvionali terrazzati (b2)	Eb
	Depositi alluvionali terrazzati (ordine b3 o maggiore di b3)	Em
	Conoidi in evoluzione	Ca
	Conoidi inattivi	Cn
	Depositi di Versante s.l. (a3)	
	Depositi morenici (c1)	
	Depositi morenici rissiani (c3)	
	Depositi morenici wurmiani (c4)	
	Aree a Rischio Idrogeologico Molto Elevato	

Carta del dissesto - PTCP - allegato P6 - sezione 217120.**Effetti sismici attesi e livelli di approfondimento**

Dall'estratto della "Carta delle aree suscettibili di effetti attesi" del PTCP vigente della Provincia di Reggio Emilia, si rileva che il terreno oggetto di indagine ricade nell'ambito delle aree soggette ad amplificazione stratigrafica, topografica e ad instabilità di versante in caso di sollecitazione sismica (rif. Classi B-D).

Per questi ambiti viene richiesto generalmente un approfondimento di indagine di II e III livello.

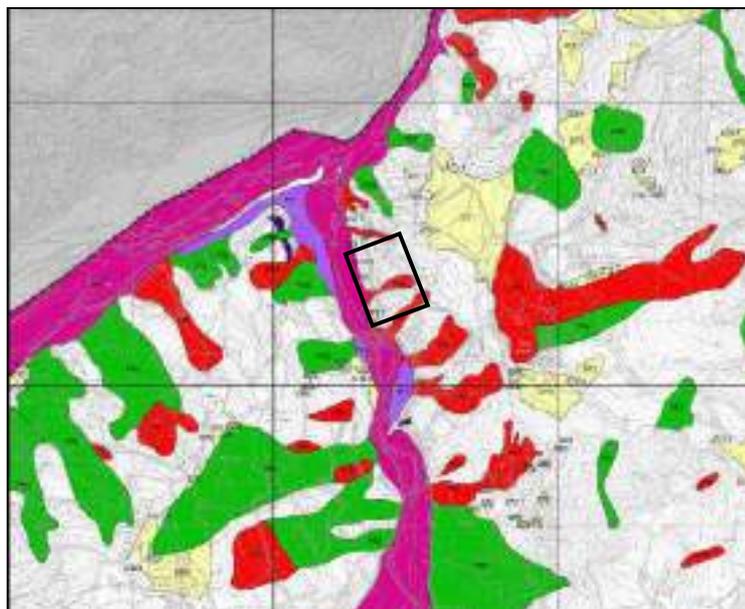
		EFFETTI ATTESI				
		AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA	AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	INSTABILITÀ DI VERSANTE	CEDIMENTI	LIQUEFAZIONE
CLASSI	A	X		X		
	B	X	X	X		
	C	X				
	D	X	X			
	E		X			
	F	X				X
	G	X			X (potenziale)	
	H					

**Rischio sismico: Carta degli effetti attesi- PTCP - allegato P9a - sezione 217SE**

Rischio sismico: Carta dei livelli di approfondimento - PTCP - allegato P9b - sezione 217SE

PSC DEL COMUNE DI CASTELNOVO NE' MONTI

L'elaborato progettuale del PSC del Comune di Vetto conferma quanto esposto dagli strumenti cartografici del PTCP.

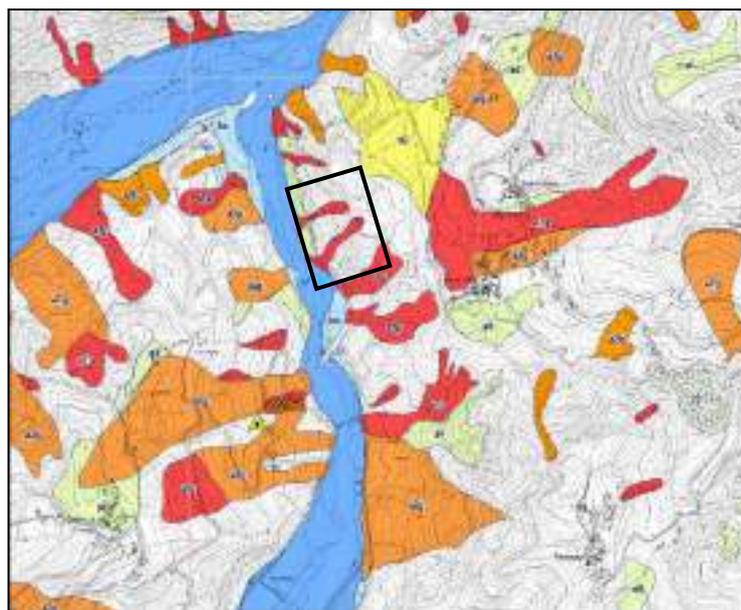


DISSESTO			
ad1	deposito arenario (a1)	ad2	deposito arenario fessato (a2)
ad4	deposito arenario variegato (a4)	clm	corridoio in evoluzione
cln	concolite instabile	DE1+4 DT	dissesti di versante (a3)
DT4	frana di crollo (a5)	fr1	frana attiva (r1)
fr2	frana latente	fr2a	frana quiescente parzialmente attiva (a2a)
fr3	scioglimento in blocco (a6)	fr3	frana stabilizzata
fr4	deposito alluvionale in evoluzione (b1)	fr4a	deposito alluvionale fessato fessato dalla vegetazione (b1a)
fr5	deposito alluvionale terrazzato (b2)	fr5a	deposito alluvionale terrazzato fessato (ordine b2 o maggiore di b2)
fr6	terrazzi	fr6	accantato di origine antropica

Tav.6 – Carta inventario del dissesto – PSC Vetto.

CARTA INVENTARIO DELLE FRANE DELL'EMILIA ROMAGNA (2018)

Quanto esposto in precedenza trova ulteriore conferma all'interno del presente documento tecnico.

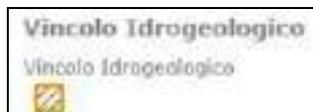


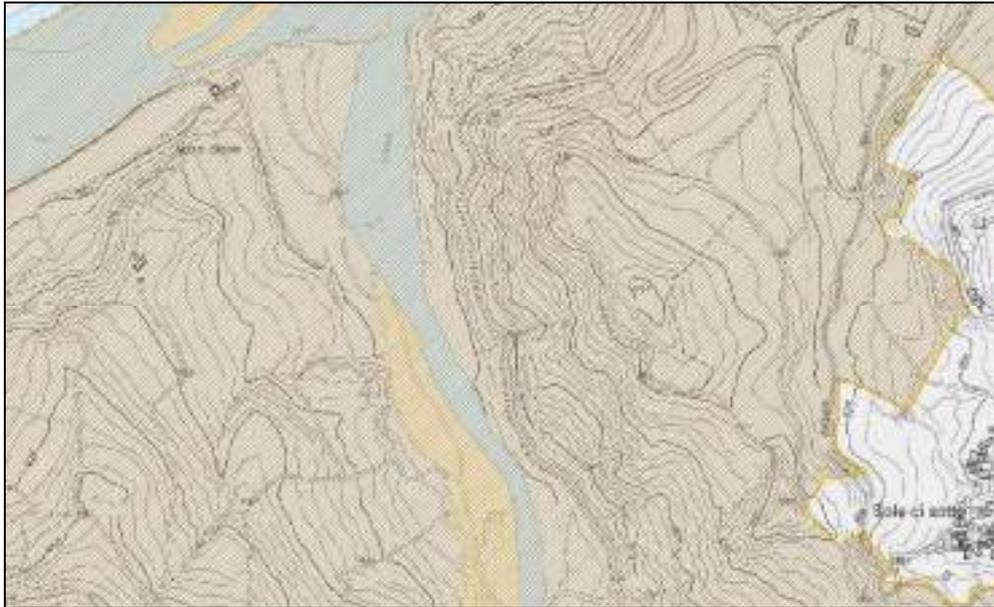
LEGENDA	
Depositi di frana	
	a1 - Depositi di frana attivi di tipo indifferenziati
	a1b - Depositi di frana attivi per scivolamento
	a1c - Depositi di frana attivi per colamento di fango
	a1g - Depositi di frana attivi complessi
	a1h - Depositi di frana attivi per avanzamento di blocchi o CGPV
	Aree di possibile evulsione delle frane attive (tipo di operazione 5.1.01 FSR)
	a2b - Depositi di frana quiescenti per scivolamento
	a2c - Depositi di frana quiescenti per colamento di fango
	a2g - Depositi di frana quiescenti complessi
	a2h - Depositi di frana quiescenti per scivolamento in blocchi o CGPV

Tav. 1 Vetto.

VINCOLO IDROGEOLOGICO

Il comparto in esame è sottoposto alla disciplina del *Regio Decreto n°3267* del 30 dicembre 1923: *“Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani.”*, relativo al vincolo idrogeologico, ai successivi decreti attuativi e alle indicazioni della *Delibera GR n°1117* del 11/07/2000. *“Direttiva regionale concernente le procedure amministrative e le norme tecniche relative alla gestione del vincolo idrogeologico, ai sensi ed in attuazione degli artt. 148, 149, 150 e 151 della L.R. 21 aprile 1999, n. 3 “Riforma del sistema regionale e locale”.*





Vincolo Idrogeologico – Servizio Moka della Regione Emilia – Romagna.

PIANO E METODOLOGIA D'INDAGINE

RILEVAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

Per la verifica delle condizioni dell'ammasso roccioso in parete, l'indagine è stata articolata come segue:

- **rilevamento geologico, geomorfologico e idrogeologico di dettaglio della zona caratterizzata dalla presenza di affioramenti rocciosi in oggetto;**
- **rilevamento geostrutturale e geomeccanico dell'ammasso roccioso in parete, tramite l'esecuzione di calate e cordate con tecniche alpinistiche;**
- **rilevamento dei pilastri di roccia cinematicamente instabili e valutazione delle volumetrie potenzialmente distaccabili.**
- **analisi qualitativa e quantitativa dei dati raccolti e dei possibili cinatismi di distacco dal fronte.**

Al fine di determinare l'assetto strutturale dell'area interessata dal dissesto sono stati rilevati, con metodo statistico, le caratteristiche strutturali e geomeccaniche dei sistemi disgiuntivi e di fratturazione dell'ammasso roccioso in senso lato, mediante l'esecuzione in parete di:

- **9 finestra di rilevamento in calata, con tecniche alpinistiche;**
- **rilievo geometrico e geomeccanico di ammassi di roccia aggettanti e parzialmente distaccati.**

L'analisi dei dati acquisiti ha permesso la ricostruzione dell'assetto strutturale dell'area, la classificazione degli ammassi rocciosi e la determinazione dei parametri di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso e delle discontinuità dello stesso.

RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI - CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

L'area di studio si colloca all'interno del Medio Appennino Reggiano, la cui strutturazione risulta quella tipica di uno stile di ricoprimento, con unità tettoniche, appartenenti a domini paleogeografici differenti, sovrapposte tra loro. Nello specifico, a seguito della chiusura dell'Oceano Ligure Piemontese e della conseguente collisione tra il blocco africano e quello europeo, sono riscontrabili tre ambienti geografici principali.

Il Dominio Ligure racchiude al suo interno le tracce dell'antica area oceanica testé descritta, il Dominio Subligure, la crosta africana assottigliata, mentre la Falda Toscana l'ambiente di pertinenza africana. Infine, la Successione Epiligure racchiude tutti i sedimenti depositi, a partire dall'Eocene Medio, all'interno dei bacini satelliti presenti nelle unità Liguri, già interessate da una intensa storia deformativa e plicativa.

Il Dominio Ligure è tradizionalmente diviso in Dominio ligure esterno e Dominio ligure interno, i cui caratteri rispecchiano la differente posizione all'interno del paleoceanico Ligure: le Liguridi Interne hanno caratteristiche oceaniche, rappresentando frammenti del fondo marino mesozoico, in cui le masse ofiolitiche sono ancora in posizione primaria alla base della successione sedimentaria; nelle Liguridi Esterne, le ofioliti compaiono invece come olistoliti, anche di dimensioni chilometriche, scollate dalla loro copertura in corrispondenza di formazioni argillose cretache ("Complessi di base" Aucutt.) e scivolte nel bacino di sedimentazione oceanico durante il Cretacico superiore.

Il Dominio Subligure, rappresentato sostanzialmente dall'Unità di Canetolo, è una successione sedimentaria profondamente tettonizzata, che si ritiene deposta in una zona di transizione tra la crosta oceanica ligure e il margine passivo africano ed è rappresentata da formazioni argilloso- calcaree di età cretacea che evolvono nel Terziario a torbiditi calcareo marnose e arenaceo-pelitiche.

Il Dominio tosco-umbro rappresenta la copertura sedimentaria del margine africano, originato dall'apertura dell'Oceano Ligure, di cui registra l'evoluzione. Si passa da una situazione di *rift* continentale (Trias trasgressivo e spesso evaporitico) a quella di margine, prima passivo (serie di piattaforma e successivo annegamento con passaggio ad ambienti bacinali nel Giurassico), poi attivo con l'inizio dell'orogenesi (sedimentazione clastica torbiditica del Terziario).

In estrema sintesi, l'assetto della catena è determinato dall'accavallamento del Dominio Ligure su quello Subligure e di entrambi sul Dominio tosco-umbro-marchigiano, a sua volta costituito da più elementi strutturali sovrapposti. Questo assetto è il prodotto di una complessa tettonica polifasica, sviluppatasi a partire dal Cretacico superiore e tutt'ora in atto.

La strutturazione dell'edificio tettonico si sviluppa in due principali fasi:

1) *fasi liguri* (mesoalpine): coinvolgono il Dominio ligure, sia interno che esterno e determinano l'assetto strutturale interno delle Liguridi, che verrà solo marginalmente modificato dalle fasi successive. La fase iniziale porta alla formazione di pieghe isoclinali a vergenza europea, ripiegate durante la fase terminale. Il ciclo si considera chiuso con l'inizio della deposizione della Successione Epiligure, nell'Eocene Medio.

2) *fasi toscane* (nealpina): rappresentano lo stadio ensialico dell'orogenesi, determinato dalla collisione delle zolle e caratterizzato dall'attivazione di una tettonica a thrust che porta al sovrascorrimento verso est delle unità tettoniche liguri e subliguri, già impilate nella fase precedente, sulle Unità toscane e, in seguito, su quelle umbro-marchigiane. Questi accavallamenti interessano aree progressivamente più esterne della catena e, a partire dal Messiniano, coinvolgono l'avampaese padano, fortemente subsidente a causa dello sprofondamento flessurale indotto dal carico delle falde

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

avanzanti. Questo dinamica prosegue, interessando depositi sempre più esterni e recenti fino al Pleistocene, periodo in cui i movimenti tettonici rallentano (ma non terminano) e nella fascia pedeappenninica e di alta pianura prevale una subsidenza generalizzata.

Il comparto territoriale del comune di Vetto d'Enza e buona parte del vicino territorio di Castelnovo Né Monti, appartiene all'ala meridionale e sudorientale della sinclinale Vetto - Carpineti. Quest'ultima si raccorda alle altre unità tettoniche tramite anticlinali, strizzate e profondamente erose, al cui nucleo affiorano estesamente le formazioni argillose del substrato ligure.

Dal punto di vista strutturale nella fascia dell'Appennino reggiano in oggetto, le principali linee tettoniche sono orientate in direzione appenninica (NW-SE), e sono ubicate in prevalenza immediatamente a sud ed a nord del bacino epiligure di Vetto - Carpineti. Detta conformazione rappresenta la parte attualmente affiorante del sistema di *thrust* che durante il Miocene ed il Pliocene ha permesso l'embricazione dell'Appennino.

Un altro importante sistema di linee tettoniche è quello trasversale a direttrice generalmente nord est – sud ovest. A questo ultimo sistema dislocativo appartiene il principale elemento tettonico lineare che interessa il territorio all'intorno del sito di intervento:

- *linea della Val d'Enza*, la quale contraddistingue la porzione mediana dell'omonima valle ed assume orientamento NNE-SSW.

Nel dettaglio, il substrato geologico dell'area di studio è ascrivibile al Membro di Varano del Melegari (**RAN3**) costituito, secondo definizione, da livelli lapidei e livelli pelitici.

Lungo i versanti che confluiscono nel gretto del T. Lonza, affiorano differenti Formazioni geologiche intensamente tettonizzate, a conferma di quanto precedente esposto in merito alla complessa ed articolata storia plicativa e deformativa dell'Appennino reggiano.

Nel primo intorno del sito in esame affiora, infatti, la porzione medio basale della Successione Epiligure, nello specifico il Membro di Varano de Melegari (RAN3) e la litofacies caotica (RAN3a); procedendo verso sud è presente un lembo di Argille Varicolori (AVV), appartenente al Dominio Ligure.

Le due falde si trovano, quindi, in contatto tettonico, mediante una faglia ad alto angolo, a tratti sub-verticale, con un andamento nord nordest – sud sudovest.

La successione delle rocce sedimentarie affioranti (*Tav. 2 – Carta geologica*) nella zona in analisi è rappresentata dagli orizzonti di seguito descritti, dall'alto in basso in senso stratigrafico.

Serie Litostratigrafica

DOMINIO EPILIGURE

FORMAZIONE DI RANZANO (RAN) (Priaboniano sup. – Rupeliano sup.)

Data da più corpi sedimentari con geometria da lenticolare a tabulare e con facies deposizionali molto variabili da arenaceo - conglomeratiche a pelitico arenacee, con prevalenza delle facies grossolane nella parte inferiore e delle facies fini nella parte superiore e nel settore sud orientale. Limite inferiore netto, talora erosivo, con MMP, marcato dalla comparsa di livelli arenacei; localmente poggia direttamente sul substrato ligure. Limite superiore netto, talora discordante, con ANT, marcato dalla scomparsa dei livelli arenacei. Potenza variabile da qualche metro ad oltre 1500 m. è interamente distinta in sottounità. Origine prevalentemente torbitica; ambiente di scarpata e di bacino, con intercalazione di frane sottomarine.

MEMBRO DI VARANO DE' MELEGARI (RAN3) (Rupeliano medio – sup.)

Unità prevalentemente pelitico arenacea: litoareniti ben cementate di colore grigio piombo, particolarmente ricche di frammenti di rocce carbonatiche, in strati da molto sottili a spessi, talora molto spessi, con geometria sia tabulare che lenticolare. Presentano

pag.9

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

frequenti intervalli caotici. Sono presenti anche livelli ricchi di frammenti di serpentinoscisti ed altre metamorfite di alta pressione e strati sottili di vulcano areniti feldspatiche. Potenza complessiva da pochi metri a circa 600 m. Limite netto, talora discordante su RAN2; limite superiore talora discordante con ANT.

LITOFACIES CAOTICA (RAN3a)

Deposito caotico, con base erosiva, costituito da matrice prevalentemente pelitica inglobante clasti e lembi di Liguridi, MMP, RAN1, e RAN2. Nella parte inferiore di RAN3, talora ne costituisce la base.

DOMINIO LIGURE

ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO (AVV) (Cenomaniano – Campaniano sup.)

Argilliti rosse e verdi sottilmente stratificate, caotiche per intensa tettonizzazione. Recano “boudins” di areniti tipo SCB e siltiti manganesifere. Presenti lenti raramente cartografa bili appartenenti all’unità dei conglomerati dei Salti del Diavolo (AVV1), costituite da conglomerati a clasti litici sedimentari, metamorfici e granitici, e strati medi e spessi arenacei silicoclastici; presenti sporadici strati medio - sottili di arenarie a composizione ofiolitica. Potenza geometrica variabile da qualche decina a qualche centinaio di metri. Contatti tettonizzati con SCB. Sedimentazione pelagica intervallata da correnti di torbidità s.l. e flussi concentrati di locale alimentazione insubrica.

Localmente associate grandi masse ofioliti che prevalentemente rappresentate da:

- Basalti in pillow (βp)
- Serpentiniti (sr)
- Breccie basaltiche (βb)
- Breccie poligeniche con ofioliti (bo)

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il sito in oggetto è stato interessato, in epoche passate, da azioni modellatrici che hanno inciso e profondamente modificato le originarie morfologie. Gli agenti modellanti di maggior influenza sono stati le acque di scorrimento e la gravità e non da ultimo l’uomo che, sia in periodi storici che attualmente, ha profondamente variato le forme naturali proprie del territorio in analisi.

Quest’ultimo, durante il Wurm era sito a quote inferiori rispetto al limite delle nevi persistenti, nella fascia a valle del margine dei ghiacciai che scendevano dal crinale appenninico (M.te Cusna e Alpe di Succiso). L’aspetto tipico del paesaggio era quindi in parte di prateria alpina ed in parte a vegetazione praticamente assente, caratteristico di ambiente morfoclimatico periglaciale.

I depositi caratteristici di detto ambito sono attualmente rappresentati dai relitti di una estesa superficie topografica di glacis, che si estendeva radialmente a partire dalla Pietra di Bismantova. Successivamente al Wurm e durante l’Olocene antico, le condizioni climatiche sono progressivamente mutate verso condizioni dapprima Boreali e poi Atlantiche, con conseguente scioglimento dei ghiacci e formazione di corsi d’acqua sempre più imponenti. Questi ultimi hanno progressivamente inciso i depositi wurmiani, separando in lembi il glacis precedentemente formatosi che risultava sempre più terrazzato.

Nell’Olocene antico, in condizioni climatiche diverse dalle attuali, si sono sviluppati imponenti fenomeni gravitativi, generati da fenomeni di rammollimento e plasticizzazione di litotipi essenzialmente argillosi - argilloso limosi.

In relazione ai litotipi attraversanti, l’attuale conformazione della valle del T. Lonza risulta stretta ed incisa, al cui interno l’alveo fluviale presenta elevata energia dinamica, contraddistinta da un pattern rettilineo, a tratti meandriforme.

L’area è contraddistinta da processi gravitativi a prevalente cinematisimo complesso, con una componente principale per crollo. Si tratta, in realtà, di processi relativi al distacco di detriti di falda.

INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO DEL SITO

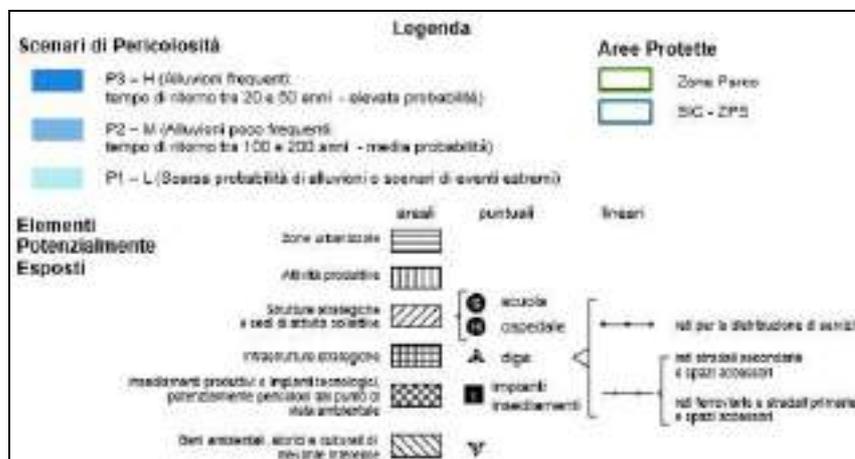
Il bacino imbrifero del Torrente Lonza assume configurazione pseudo – trapezoidale e pattern sudendritico; esso si evolve dal territorio comunale di Ventasso e trova la sua sezione di sbocco in confluenza al Torrente Enza; il tratto finale è caratterizzato da pattern meandriforme.

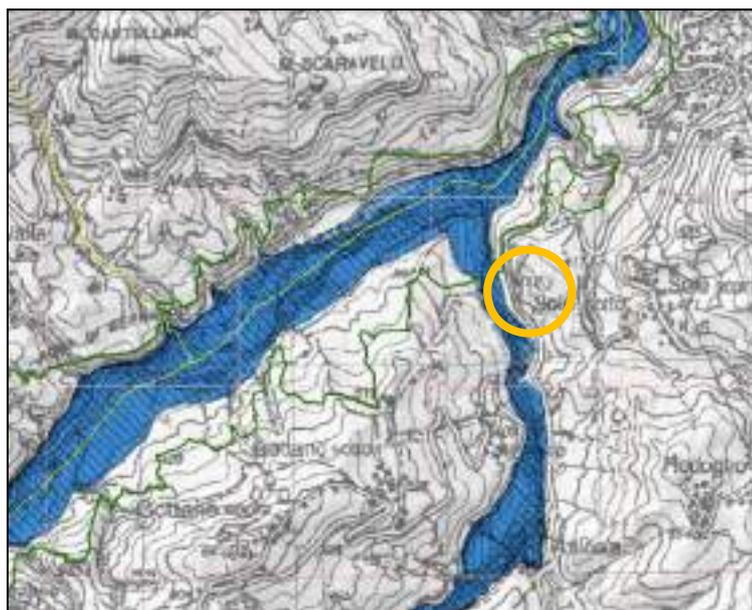
Dal punto di vista idrogeologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di una sezione a V stretta, costituita da materiali grossolani contraddistinti da grandi valori di permeabilità e trasmissività: il materiale ghiaioso alluvionale di riempimento costituisce un acquifero a pelo libero, con grande velocità di trasferimento dei filetti idrici sotterranei (quindi elevata capacità erosiva non solo di superficie) e livelli di battente idrico assai differenziati, in relazione alle precipitazioni meteoriche. L'acqua rilevabile in alveo (solo stagionalmente) costituisce un quantitativo minimo rispetto a quella presente in subalveo.

PERICOLOSITÀ IDRAULICA DELL'AREA (D.G.R. 1300/2016)

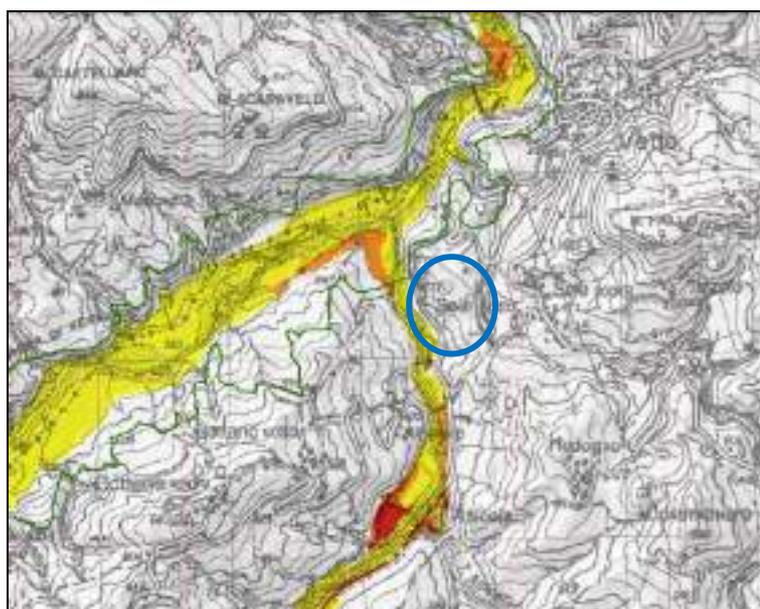
Si riportano gli estratti degli elaborati cartografici rappresentati dalle Mappe di Pericolosità e del Rischio di alluvione predisposte ai sensi dell'art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010. L'area di studio si colloca all'interno del medio Appennino reggiano e dal punto di vista idrografico è ascrivibile al **Reticolo Secondario Collinare Montano (RSCM)** il quale, per definizione, è costituito da corsi d'acqua secondari nei bacini collinari e montani e dai tratti montani dei fiumi principali.

La disamina dell'elaborato grafico “*Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni – Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti*” evidenzia come generalmente l'intorno dell'area in analisi sia contraddistinto da alluvioni poco frequenti (P2 – M tempo di ritorno tra 100 e 200 anni, media probabilità).



**Mappa della pericolosità e degli elementi esposti**

Le perimetrazioni della mappa del rischio potenziale esposte all'interno del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), ai sensi della direttiva europea 2007/60/CE, evidenziano uno scenario di **rischio nullo (R1)**.

**Mappa del rischio**

RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA – RISPOSTA SISMICA LOCALE

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

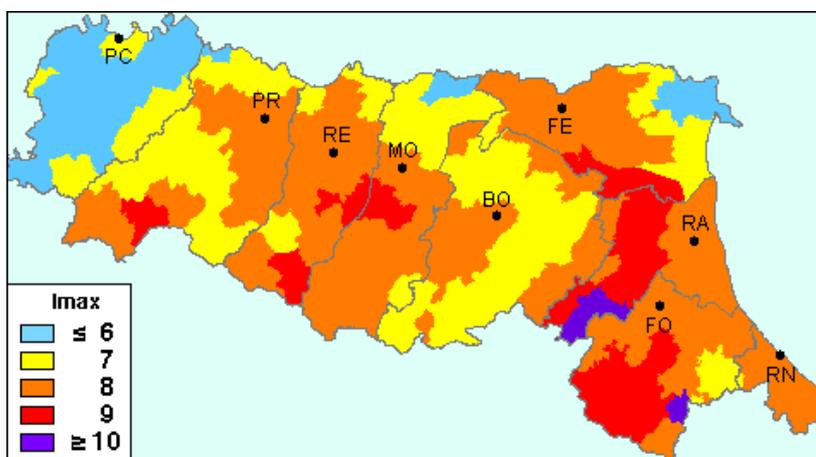
Le coordinate geografiche (**ellissoide ED50**) relative circa al centro dell'area di intervento corrispondono a:

10,32549 ÷ 44,47382

(utilizzate per il calcolo dell'azione sismica – DM 17/01/18)

STORIA SISMICA DEL SITO

Nell'ambito territoriale a cui appartiene Vetto, *Parametrico dei terremoti di area italiana NT4.1 (Camassi e Stucchi, 2004)* documenta eventi sismici giungenti al 7° - 8° grado della Scala *Mercalli - Cancani – Sieberg*, con intensità compresa tra $M = 4,7 \div 5,4$.



Zonazione sismica della RER sulla base della scala MCS.

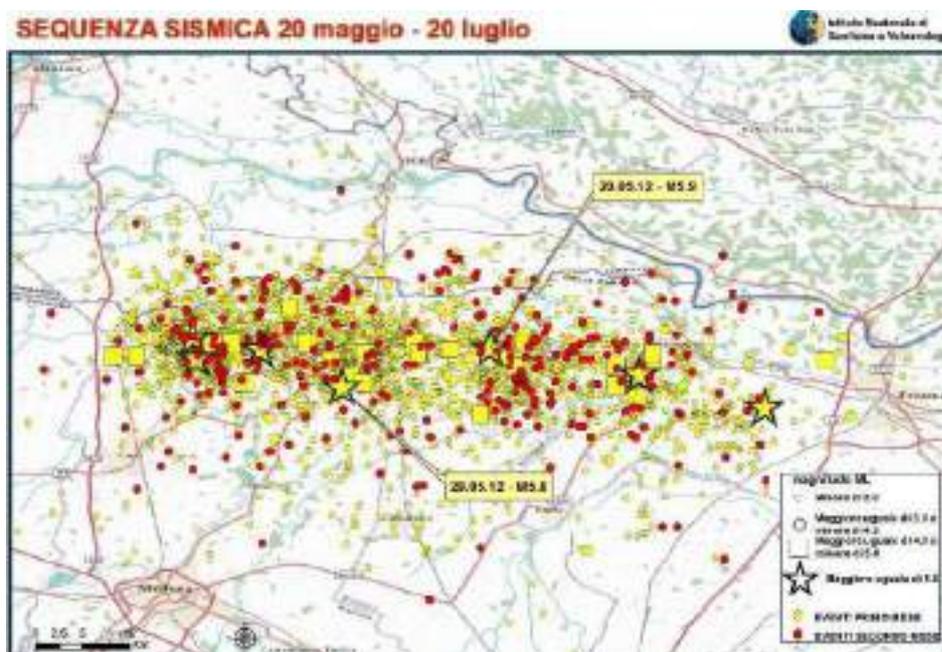
Nell'ambito a cui appartiene il territorio comunale di Vetto, il Database Macrosismico DBMI04, utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004 – INGV, Bologna) sono documentati gli eventi sismici di seguito riportati:

Storia sismica di Vetto (RE)
[44.484, 10.338]
Osservazioni disponibili: 10

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mv
4-5	1887	02	23	08	21	Liguria occidentale	1815	10	6.28
5	1898	03	04			CALESTANO	260	7	5.07
6	1904	02	25	18	47	Reggiolo	61	7	5.18
NE	1904	11	17	06	02	FIORENTINO	204	7	5.18
5	1913	11	23	20	55	VAL DI TARO	79	6	4.88
4	1930	05	24	22	02	FIUMALBO	43	6	5.22
5	1983	11	09	16	29	Parma	895	7	5.10
NE	1986	12	06	17	07	BONDENO	604	6	4.56
4-5	1995	10	10	06	34	LUNIGIANA	341	7	5.04
5	1996	10	15	09	55	CORREGGIO	135	7	5.44

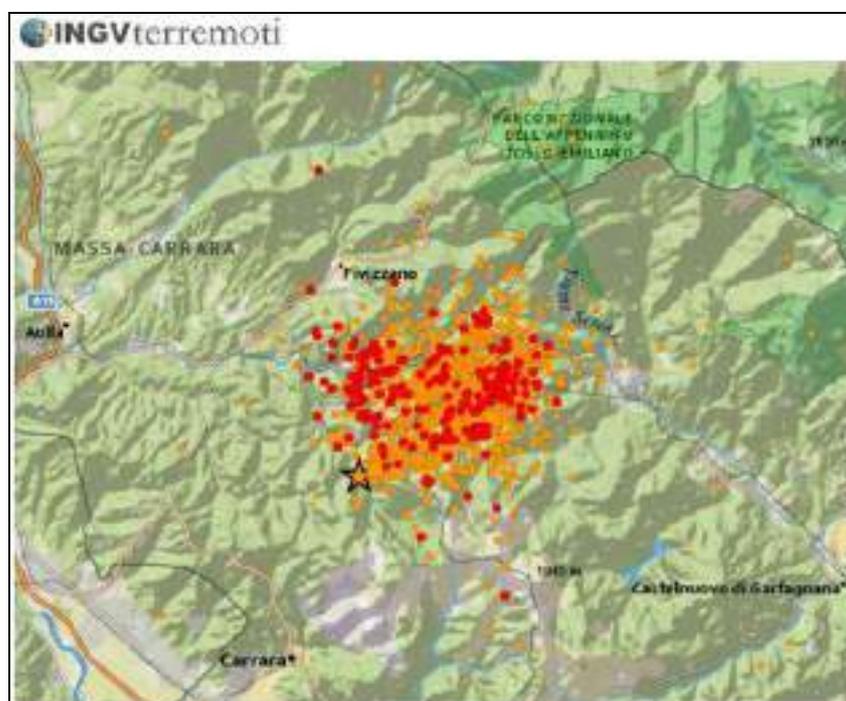
Storia sismica del comune di Vetto.

A detti dati vanno aggiunti quelli relativi ai recenti eventi sismici, datati 20/05/2012 e 29/05/2012 che hanno presentato intensità pari a $MW = 5.8 \div 5.9$, la cui distribuzione areale è presentata nella figura seguente.



Distribuzione degli epicentri dei terremoti che hanno colpito la bassa Pianura Padana

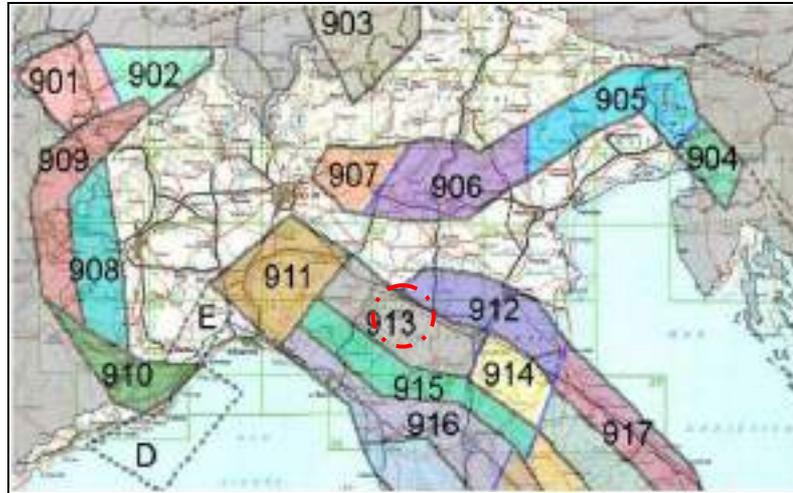
L'ultima sequenza sismica significativa rilevata dai sismografi che ha coinvolto il centro – nord Italia è stata quella che ha coinvolto la Lunigiana e la Garfagnana nel Giugno – Luglio 2013; l'evento principale, datato 21/06/2013, ha presentato intensità pari a $MW = 5.2$.



Distribuzione degli epicentri dei terremoti che hanno colpito la Garfagnana – Lunigiana.

Gli epicentri sismici verificatisi nel territorio in analisi hanno origine, per la quasi totalità, nei primi 15 ÷ 25 km del sottosuolo evidenziando la prevalenza di un'attività sismogenetica di tipo superficiale. La zonazione sismica del territorio

nazionale, la quale identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), attribuisce l'ambito territoriale in oggetto alla zona sismogenetica 913. La componente cinematica principale che regola la distribuzione degli sforzi all'interno di suddetta fascia è di tipo compressivo (prevalentemente *thrust*) legata all'accavallamento delle propaggini del fronte appenninico.



Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

IDENTIFICAZIONE CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE

La definizione del valore $V_{s,eq}$ (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel primo sottosuolo) si è determinata mediante la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:

H = spessore totale (in m) dei terreni di copertura, o profondità del tetto del bedrock sismic.

h_i = spessore (in m) dello strato i -esimo.

V_{si} = velocità (in m/s) dello strato i -esimo.

Nel caso di substrato sismico riscontrabile a profondità superiori di – 30,0 m dal piano di posa fondale, risulta:

$$V_{s,eq} = V_{S30}$$

I dati acquisiti denotano come i primi orizzonti del sottosuolo siano contraddistinti da velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , profondità e spessori come riportato nella seguente tabella.

Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. [m]	Spessore medio [m]	V_s [m/sec]
1	0,5 ÷ 3,1	2,6	259
2	3,1 ÷ 8,3	5,2	466
3	8,3 ÷ 15,6	7,3	625
4	15,6 ÷ 25,0	9,4	677
5	25,0 ÷ 30,5	5,5	823

Per i metodi di acquisizione sopra descritti, si è ottenuto il seguente valore di velocità V_{S30} :

$$V_{S30} = 561 \text{ m/sec}$$

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dai parametri sopra esposti e delle caratteristiche geotecniche desunte delle verticali delle prove penetrometriche DPSH congiuntamente all'esecuzione del sondaggio meccanico a carotaggio continuo, risulta che i litotipi che formano i primi 30 m del sottosuolo, soggiacenti la quota di incastro delle fondazioni, sono attribuibili a:

Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massivo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati e terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa molto addensati e terreni a grana fina molto consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

CLASSE DELL'OPERA: AZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

L'intervento in progetto è caratterizzato dalla seguente classe d'opera e dai relativi parametri di definizione dell'input sismico.

	Classe	III
Vita nominale	Vn	50 anni
Coefficiente d'uso	Cu	1,5
Vita di riferimento	Vr	75 anni

AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Sulla base delle indicazioni contenute delle NTC di cui al D.M. 17/01/18, per l'area in esame, considerando strutture di classe III (vita nominale $V_n = 50$ anni, coefficiente d'uso $C_u = 1,5$; vita di riferimento $V_r = 75$ anni), risultano i seguenti valori di accelerazione di riferimento al suolo e parametri per il calcolo degli spettri di risposta di riferimento, in funzione dei diversi stati limite considerati:

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_{c^*} (s)
SLO	45	0.068	2.468	0.255
SLD	75	0.084	2.475	0.265
SLV	712	0.186	2.534	0.296
SLC	1462	0.230	2.559	0.308

dove:

SLO = Stato limite di operatività, $P_vr = 81\%$; SLD = Stato limite di danno; $P_vr = 63\%$; SLV = Stato limite di salvaguardia della vita, $P_vr = 10\%$; SLC = Stato limite di prevenzione del collasso, $P_vr = 5\%$; a_g = accelerazione massima di riferimento al suolo; F_0 = fattore di amplificazione; T_{c^*} = inizio del tratto orizzontale dello spettro di risposta

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

FATTORE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICO (D.M. 17/01/2018)

Secondo i dettami del D.M. 17/01/2018, l'area è caratterizzata da un coefficiente di amplificazione stratigrafica equivalente a **S_s = 1,200**.

FATTORE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO (D.M. 17/01/2018)

Per l'area in oggetto, in relazione a quanto asserito dal D.M. 17/01/2018, si dovrà considerare un coefficiente di amplificazione topografica pari a **S_T = 1,200**.

PRINCIPALI COEFFICIENTI DI ACCELERAZIONE SISMICA

Alla luce degli studi effettuati nella presente relazione, i terreni di fondazione saranno sottoposti ad un'accelerazione sismica quantificabile secondo i seguenti principali parametri dinamici:

	D.M. 17/01/2018
Latitudine (ED50)	44.47648
Longitudine (ED50)	10.32505
Vita nominale struttura	50 anni
Classe struttura opera	III
Coefficiente d'uso	1,5
Vita di riferimento struttura	75 anni
V _{S30}	561 m/sec
Categoria suolo di fondazione	B
Pga di riferimento (SLV)	0,186
Coefficiente di amplificazione stratigrafico	1,200
Coefficienti di amplificazione topografico	1,200
F _{0SLV}	2,534
T _{C_{SLV}}	0,296
a _{max} /g	0,267
Coefficiente di riduzione sismico β = 0,38 (verifica di opere sul pendio)	
coefficiente sismico orizzontale	k_h = 0,102
coefficiente sismico verticale	k_v = ± 0,051

ANALISI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

L'analisi della sequenza litomeccanica evidenzia che i terreni, riscontrati nel primo sottosuolo, sono costituiti essenzialmente da detriti eterogenei, a media elevata consistenza, a cui fanno seguito termini litoidi pelitici ed arenitici, costituenti il substrato roccioso. In tutti i suddetti litotipi la percentuale in componenti fini (diametri minori di 0,005 mm) è superiore al 20%; inoltre il grado di consistenza dei materiali litoidi risulta notevolmente elevato. Dette caratteristiche, evidenziano come i terreni che formano il primo sottosuolo non siano suscettibili a rischio di liquefazione in occasione di sollecitazione sismica.

RILEVAMENTO STRUTTURALE E GEOMECCANICO: APPROCCIO TEORICO**CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO: METODI DI CLASSIFICAZIONE UTILIZZATI****ROCK MASS RATING (RMR, BENIAWSKY)**

Il valore di RMR è dato dalla:

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

dove:

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

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

A1 – RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA							
f_c (MPa)	> 10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	Non applicabile – usare σ_c		
σ_c (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
COEFFICIENTI	15	12	7	4	2	1	0

A2 – INDICE RQD					
RQD (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25
COEFFICIENTE	20	17	13	8	3

A3 – SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ "s"					
s (cm)	> 200	60 - 200	20 - 60	6 - 20	< 6
COEFFICIENTE	20	15	10	8	5

A4 – CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITÀ						
CONDIZIONE	Molto scabre Non continue Chiuse Pareti non alterate	Leggermente scabre Continue Apertura < 1 mm Pareti leggermente alterate	Leggermente scabre Continue Apertura < 1 mm Pareti alterate	Piane o lisce Continue Apertura 1 – 5 mm Riempimento < 5 mm	Continue Apertura > 5 mm Riempimento > 5 mm	
COEFFICIENTE	30	25	20	10	0	

A5 – CONDIZIONI IDRAULICHE					
CONDIZIONE	ASCIUTTA	UMIDA	BAGNATA	DEBOLI VENUTE	FORTI VENUTE
coefficiente	15	10	7	4	0

Le condizioni idrauliche sono riferite a un fronte di 10 mm

A seconda della tipologia di applicazione viene poi applicato un coefficiente di correzione A6 per l'orientamento delle discontinuità.

A6 – ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ					
APPLICAZIONE	MOLTO FAVOREVOLE	FAVOREVOLE	MEDIOCRE	SFAVOREVOLE	MOLTO SFAVOREVOLE
Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
Versanti	Non applicabile – utilizzare la classificazione SMR				

Quadri parametrici semplificati RMR.

Si precisano due seguenti aspetti relativi ai valori numerici assegnati.

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

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

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

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

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

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

VALORE DI S_c (MPa)	EQUAZIONE
$\leq 44,5$	$A1 = \frac{4}{44,5} S_c + 1$
$44,5 - 93,75$	$A1 = \frac{4}{49,25} S_c + 1,368$
$93,75 - 140$	$A1 = \frac{3}{46,25} S_c + 2,919$
$140 - 180$	$A1 = 0,0375 S_c + 6,75$
$180 - 240$	$A1 = 0,025 S_c + 9$
> 240	$A1 = 15$

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

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

Determinazione di A4: Condizioni delle discontinuità.

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

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

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

v1 – PERSISTENZA (CONTINUITÀ) DEL GIUNTO	
PERSISTENZA (m)	v1
< 1	6
1 ÷ 3	4
3 ÷ 10	2
10 ÷ 20	1
> 20	0

v2 – APERTURA DEL GIUNTO	
APERTURA (mm)	v2
COMPLETAMENTE CHIUSO	6
< 0,1	5
0,1 ÷ 1	4
1 ÷ 5	1
> 5	0

v3 – RUGOSITÀ DEL GIUNTO	
RUGOSITÀ	v3
Molto rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

v4 – ALTERAZIONE DELLE PARETI	
ALTERAZIONE	v4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto alterate	1
Decomposte	0

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

linee guida per la determinazione di A4 in RMR

Correzione dell'indice RMR

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

Nella pratica si usa differenziare:

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

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

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

ROCK MASS RATING (RMR) MODIFICATO (SEN)

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

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

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

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

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

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI, HOEK)

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

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

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

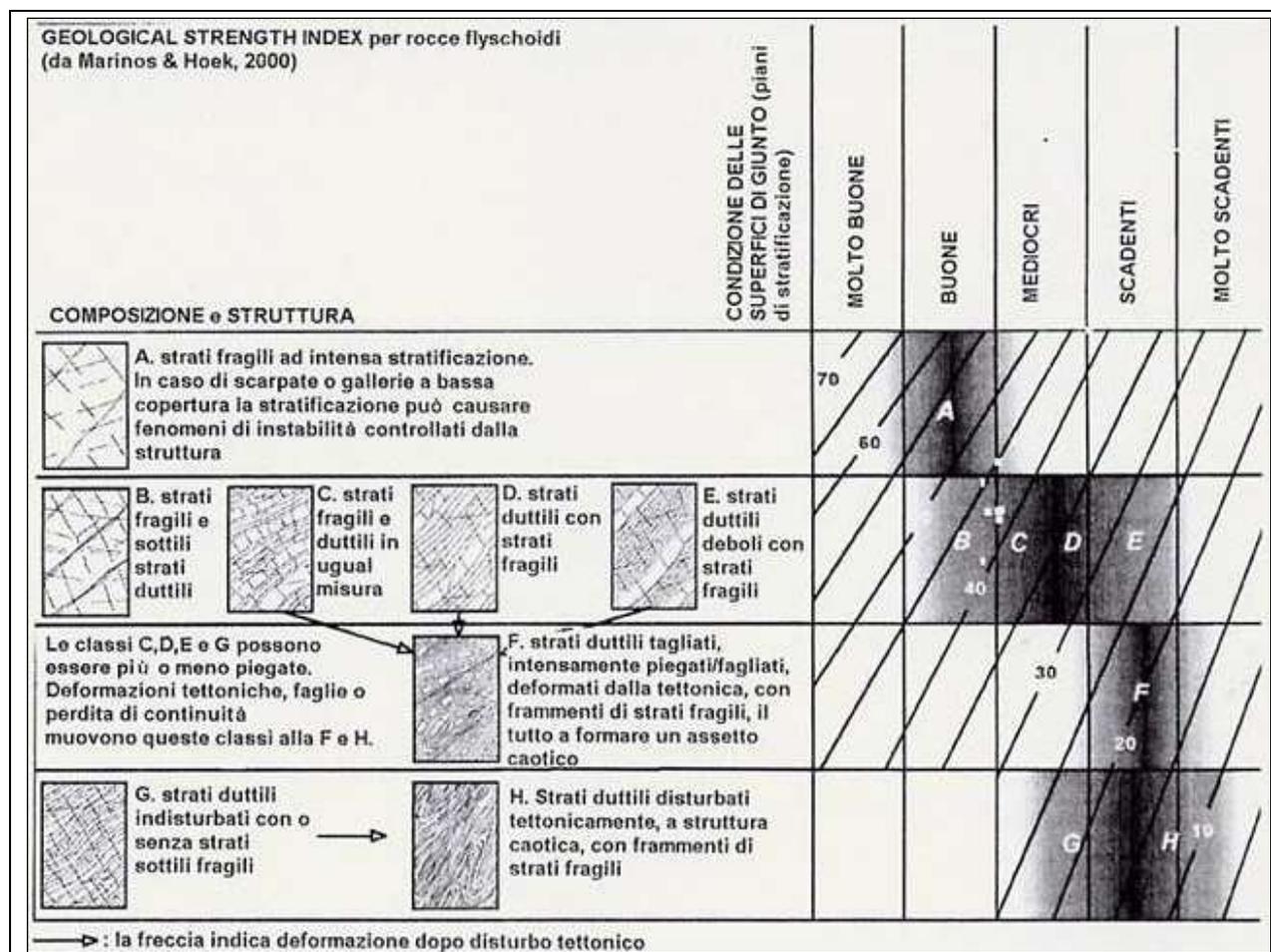


Abaco GSI per rocce fratturate.

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

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

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



Determinazione del **GSI** per rocce flyschoidi.

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

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

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

PARAMETRI GEOMECCANICI RELATIVI ALL'AMMASSO ROCCIOSO

CRITERIO DI ROTTURA DI HOEK-BROWN PER GLI AMMASSI ROCCIOSI

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

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

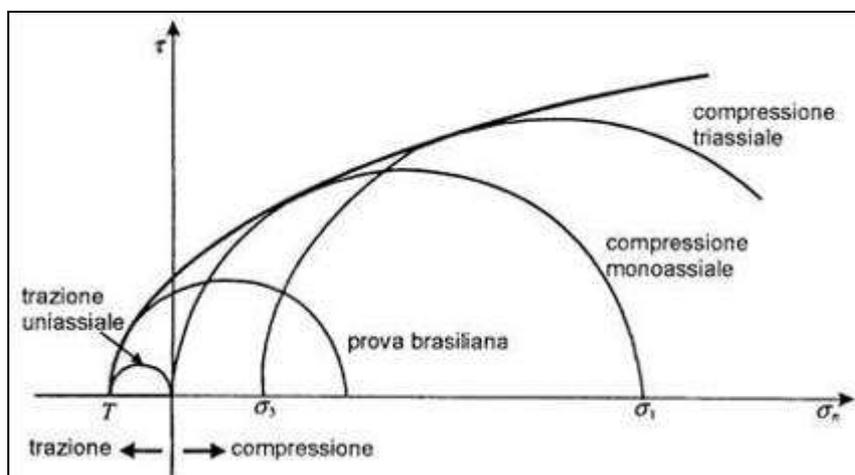
L'equazione sviluppata risulta come di seguito:

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

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

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

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



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

IL CRITERIO DI HOEK-BROWN NELLA FORMULAZIONE ULTIMA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

APPLICAZIONE	CONDIZIONI DELL'AMMASSO	D
Gallerie	Scavo con esplosivo con microritardi o scavo con TBM	0
Gallerie	Scavo meccanizzato in ammassi di scarsa qualità senza uso di esplosivo	0
Gallerie	Idem in presenza di rocce spingenti o rigonfianti	0.5
Gallerie	Utilizzo di esplosivo non controllato in rocce competenti	0.8
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche controllate	0.7
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato	1.0
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione con uso di esplosivo	1.0
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione a scavo meccanizzato	0.7
		per altezze fino a 50 m 1.0 per altezze superiori
Versanti	Scarpate naturali non disturbate da faglie o zone di taglio	0

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

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

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

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

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

dove:

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

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

Valori di m

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

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

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

Valori consigliati di m_i.

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

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

IL CRITERIO DI BIENIAWSKI – SEN

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

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

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

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

PARAMETRI GEOMECCANICI RELATIVI ALLE DISCONTINUITÀ

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

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-----------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

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

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

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

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

Barton e Choubey pervengono alla formulazione finale del modello:

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

Dalle precedenti equazioni, si ricava inoltre:

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

I parametri utilizzati hanno il seguente significato:

ϕ_b = angolo d'attrito di base;

ϕ_r = angolo di attrito residuo;

ϕ' = **angolo di attrito mobilitato sulla discontinuità;**

JRC = coefficiente di rugosità di *Barton*;

JCS = resistenza alla compressione monoassiale;

JRC · log₁₀ (JCS/σ_n) = i_{eff} = contributo di attrito dovuto alla rugosità della discontinuità.

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

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

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

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

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

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

Valori di ϕ_b per giunti asciutti e umidi.

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

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

ANALISI CINEMATICA DEI BLOCCHI ROCCIOSI

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

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

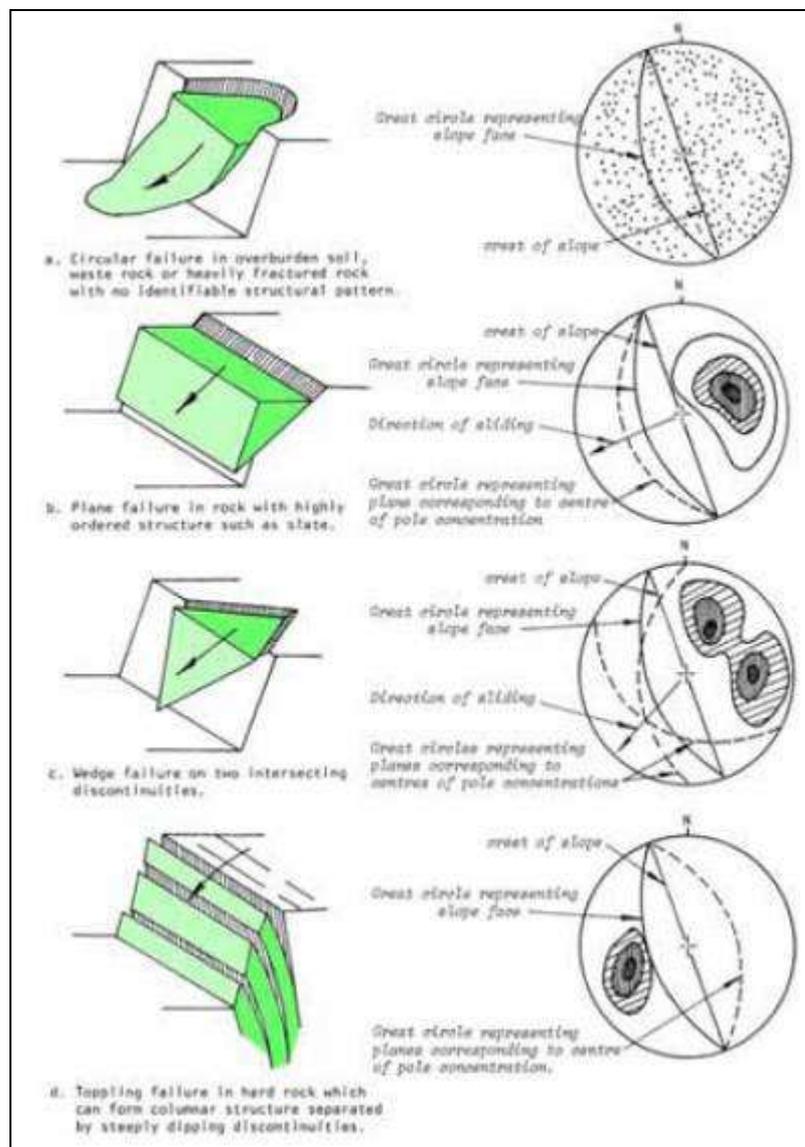
Il fattore di sicurezza del pendio dipende dalla inclinazione della linea di intersezione, dalla resistenza a taglio della superficie della discontinuità e dalla geometria del cuneo.

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

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

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

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



Cinatismi di instabilità e loro rappresentazione sul reticolo stereografico.

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

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

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

RILEVAMENTO STRUTTURALE E GEOMECCANICO ESEGUITO**TECNICA DI RILEVAMENTO DEI DATI STRUTTURALI E GEOMECCANICI**

Le operazioni di rilevamento sono avvenute sul versante lungo la Sp. 57, al Km 2 +400.



Suddivisione in finestre dell'affioramento.

Nel procedimento generale sono stati esaminati:

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

TIPI DI RILEVAMENTO ESEGUITI**Rilevamento geometrico di diedri e pilastri rocciosi**

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

Rilevamento su finestre (F).

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

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

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

STRUMENTI UTILIZZATI E DATI RACCOLTI

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

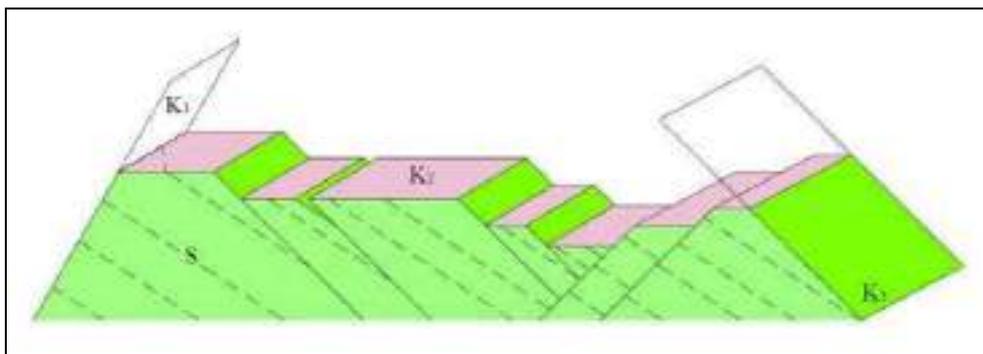
- **Bussola di Burton;**
- **Martello di Schmidt;**
- **Pettine di Burton;**
- **Cordelle metriche;**

sono stati ricavati i seguenti parametri:

- **Giacitura del fronte;**
- **Giacitura delle superfici di discontinuità;**
- **Tipo ed analisi della discontinuità;**
- **Persistenza e lunghezza delle discontinuità;**
- **Spaziatura delle discontinuità;**
- **Apertura delle discontinuità;**
- **Forma o Curvatura delle discontinuità;**
- **Riempimento delle discontinuità;**
- **Terminazione delle discontinuità;**
- **Eventuale presenza di acqua (su ammasso roccioso e in corrispondenza delle discontinuità);**
- **Scabrezza delle discontinuità;**
- **Resistenza a compressione monoassiale su discontinuità (ove possibile) e ammasso roccioso.**

GIACITURA DEL FRONTE E DELLE DISCONTINUITÀ

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



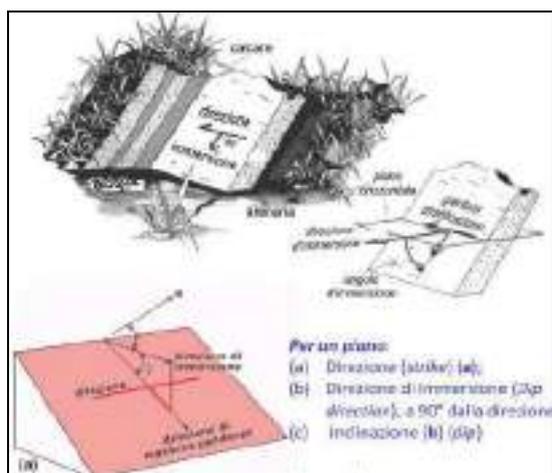
K1, K2, K3, = sistemi di discontinuità; S o K0 = stratificazione

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

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

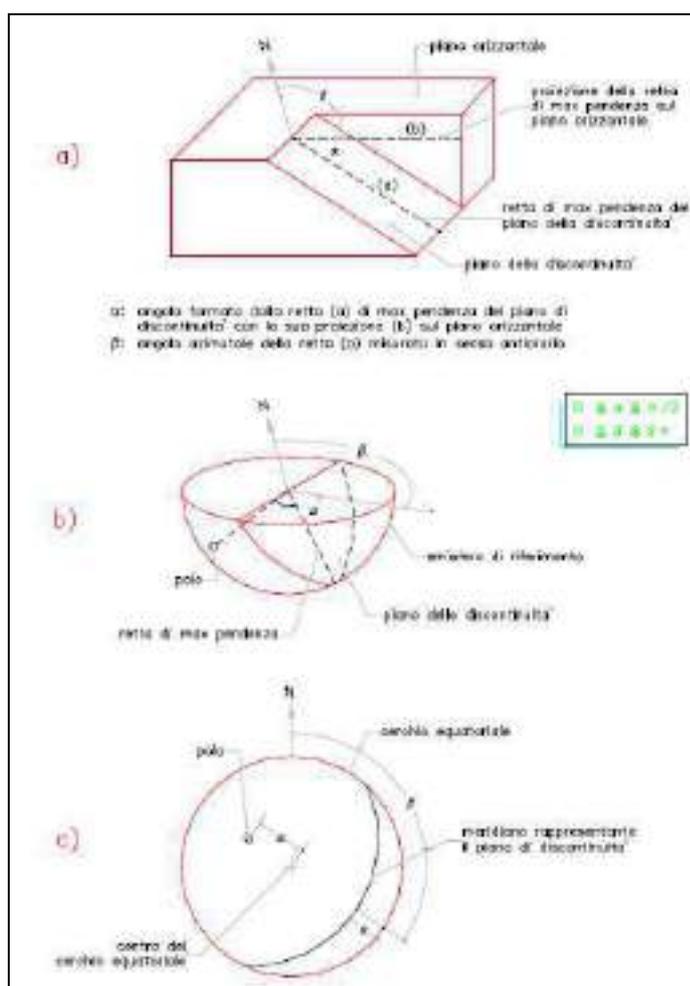
Immersione (dip direction): direzione verso cui la superficie immerge, misurata sul piano azimutale.

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



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

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



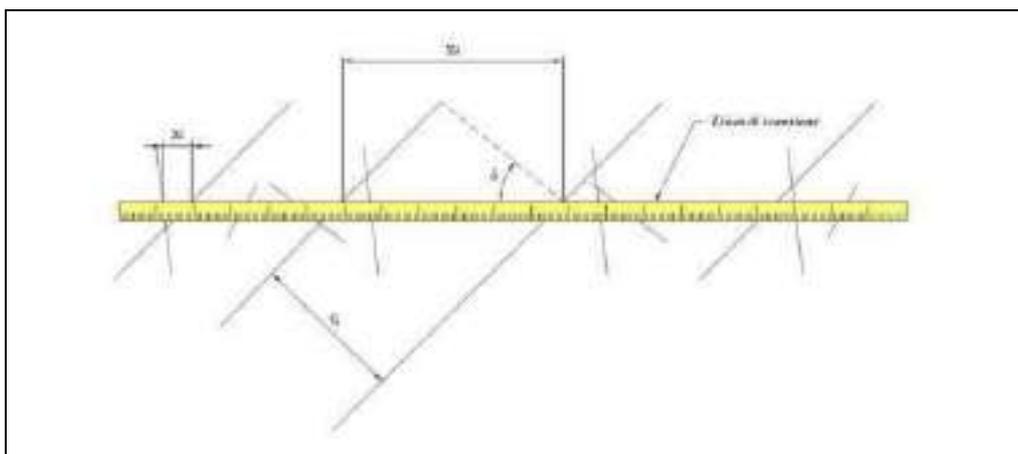
TIPO ED ANALISI DELLA DISCONTINUITÀ:

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

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

SPAZIATURA DEI GIUNTI RILEVATI

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

**Spaziatura delle discontinuità negli ammassi rocciosi.**

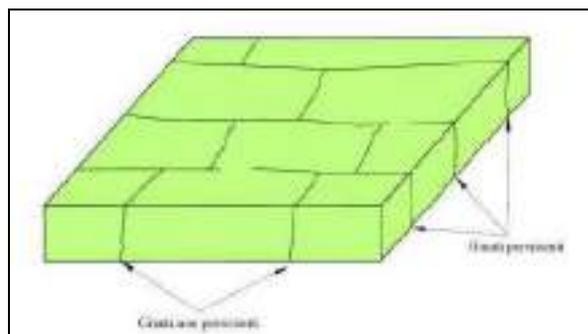
Definizione bidimensionale della spaziatura normale (X_n), della spaziatura totale (X_t) e della spaziatura del set (X_d).

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

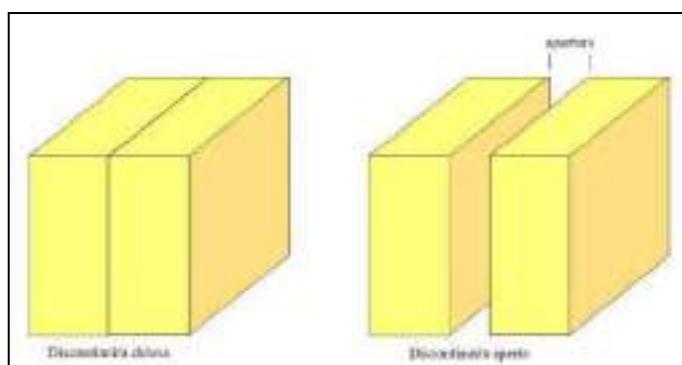
PERSISTENZA DEI GIUNTI

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

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

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

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

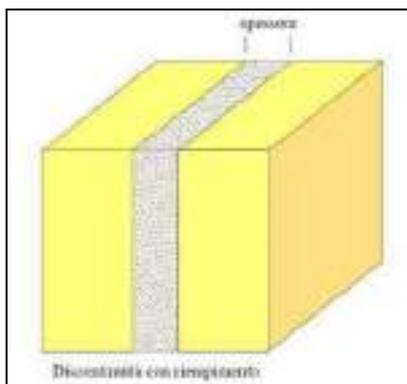
**Apertura di una discontinuità**

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

Classificazione ISRM in base all'apertura

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

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



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

TERMINAZIONE DELLA DISCONTINUITÀ

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

I = in roccia intatta;

A = contro un'altra frattura;

O = fuori affioramento.

EVENTUALE PRESENZA DI ACQUA (SU AMMASSO ROCCIOSO E DISCONTINUITÀ)

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

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

Discontinuità senza riempimento

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

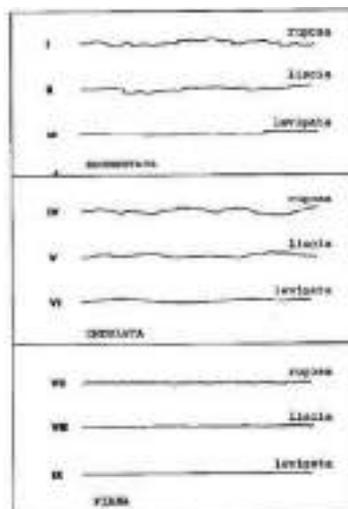
Discontinuità con riempimento

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

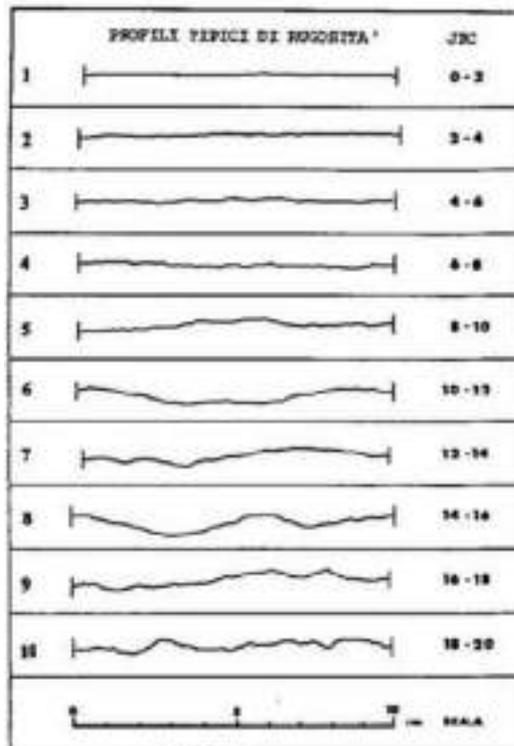
Grado di filtrazione complessivo

SCABREZZA DELLE DISCONTINUITÀ

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



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



Profili di scabrezza e corrispondenti valori di JRC (ISB)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

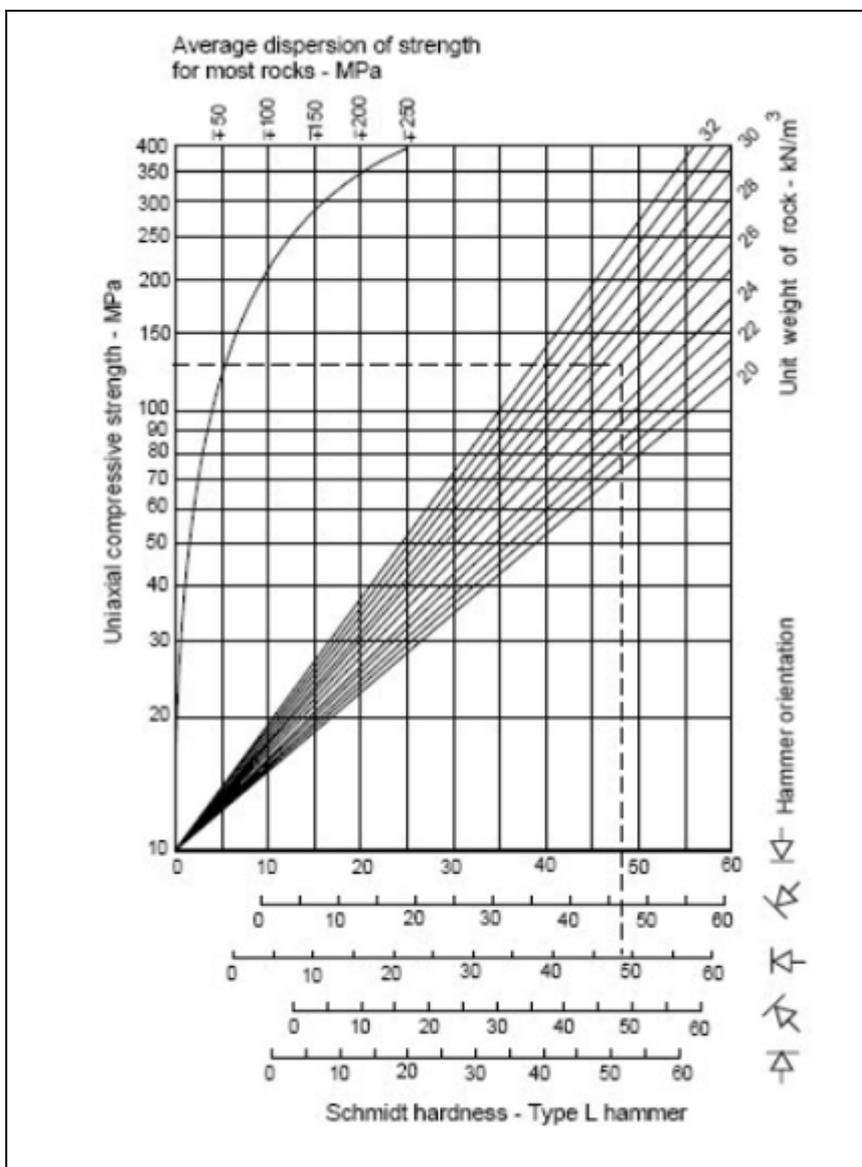
dove:

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

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

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

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



Valori di JCS

PRESENTAZIONE ED ANALISI DEI DATI RILEVATI

DESCRIZIONE GEOLOGICA E LITOSTRATIGRAFICA DEL SITO DI RILEVAMENTO

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

La parete rocciosa analizzata assume una lunghezza complessiva pari a circa 120 m ed un'altezza generalmente compresa tra 25 e 55 m; **la giacitura degli strati**, ove riconoscibile, si presenta prevalentemente a traverspoggio, con componente secondaria a reggipoggio.

RILEVAMENTI STRUTTURALI E ANALISI DI DATI STRUTTURALI

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

- **9 Finestre di rilevamento, eseguita in assicurazione con tecniche alpinistiche.**
- **Rilievo geometrico e strutturale dei principali diedri e pilastri aggettanti.**

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

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

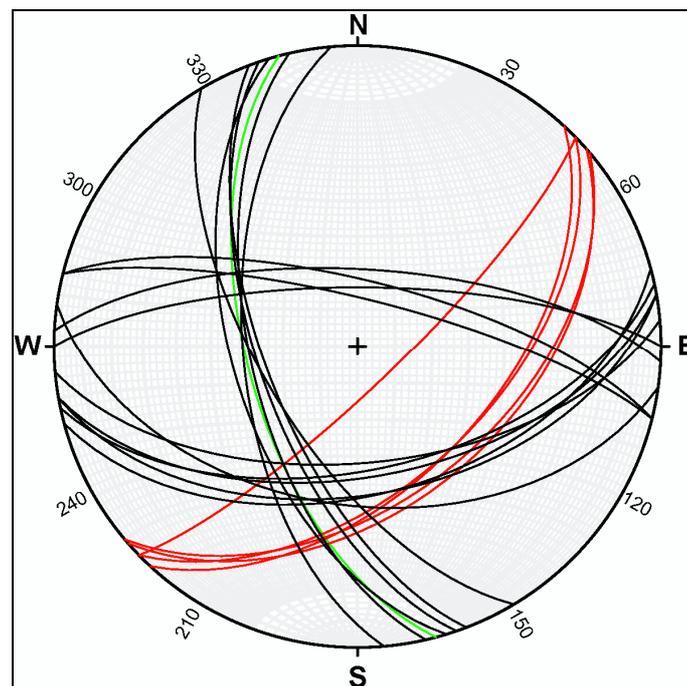
Le discontinuità rilevate nell'area di indagine sono state rappresentate con proiezione stereografica (**dei poli e delle famiglie di discontinuità**) sul reticolo equatoriale di Schmidt, emisfero inferiore.

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

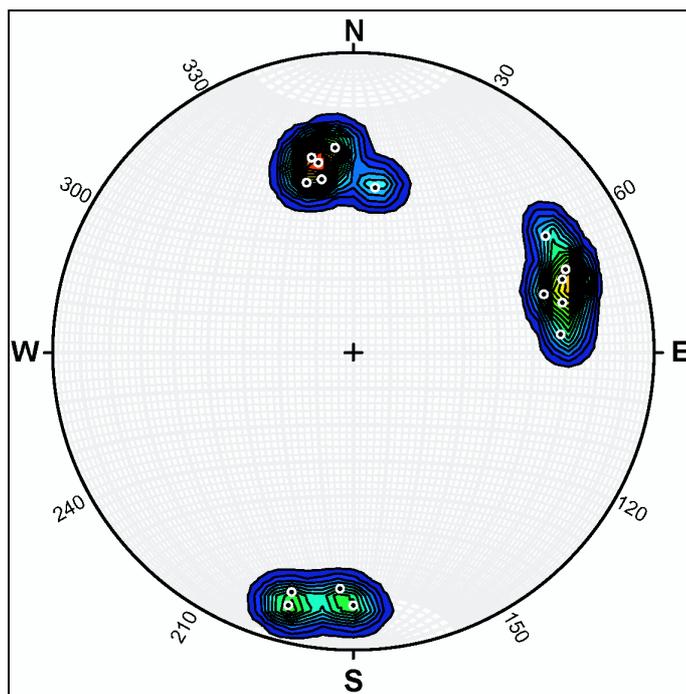
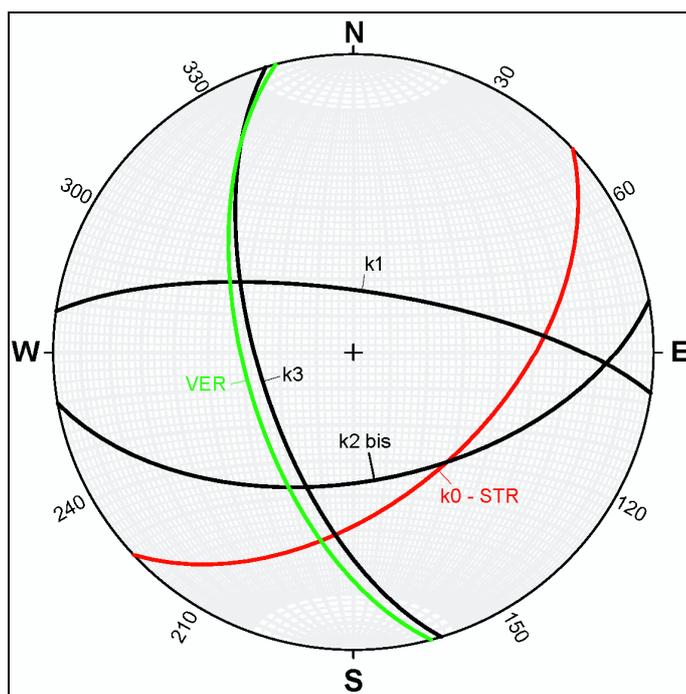
Finestra di rilevamento F1 – Flysch torbiditico con strati calcarenitici sottili (raramente medi) di spessore compreso tra 5 e 10 cm; strati pelitici molto sottili (rapporto A:P = 3:1).



Rappresentazione fotografica



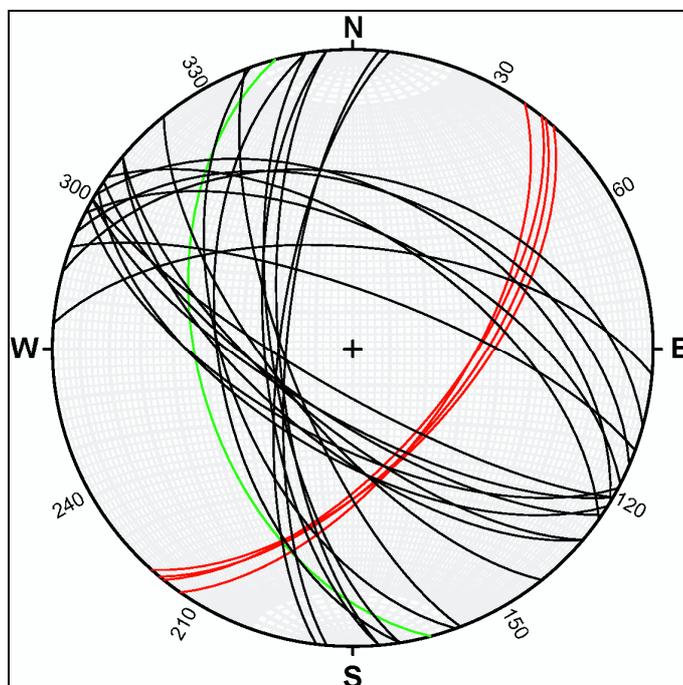
Discontinuità rilevate

**Poli delle discontinuità rilevate****Famiglie di discontinuità**

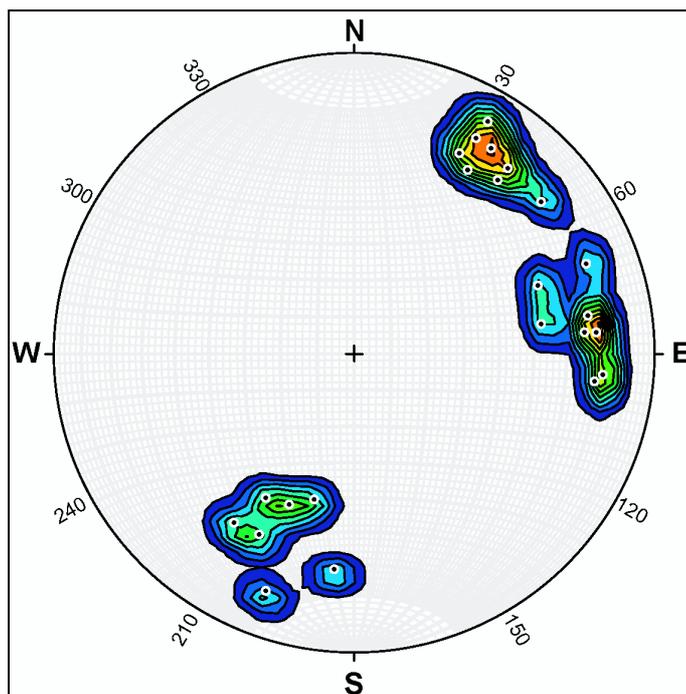
Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	255°	60°
k1	Fratturazione	8°	73°
k2bis	Fratturazione	170°	54°
k3	Fratturazione	253°	64°

Finestra di rilevamento F2 – Alternanze calcarenitico pelitiche (rapporto A:P = 3:1).

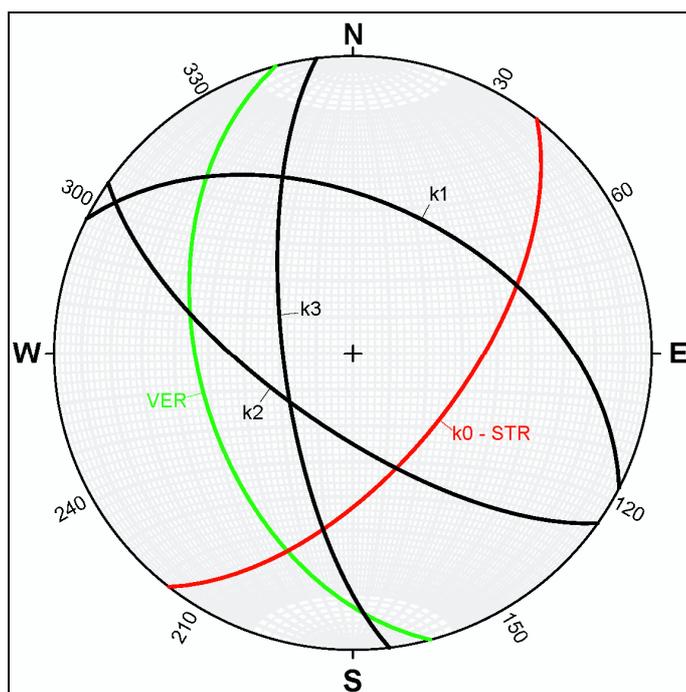
Rappresentazione fotografica



Discontinuità rilevate



Poli delle discontinuità rilevate

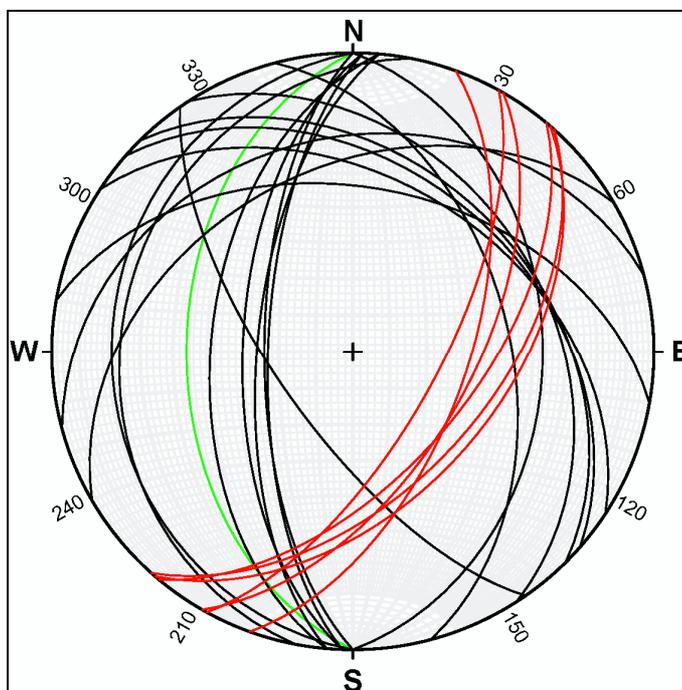


Famiglie di discontinuità

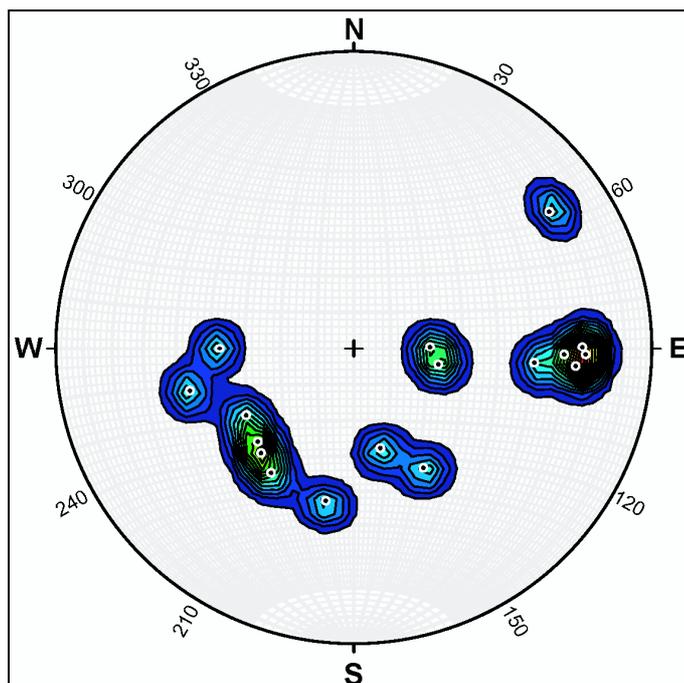
Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	255°	47°
k1	Fratturazione	27°	48°
k2	Fratturazione	215°	69°
k3	Fratturazione	263°	71°

Finestra di rilevamento F3 – Strati calcarenitici amalgamati.

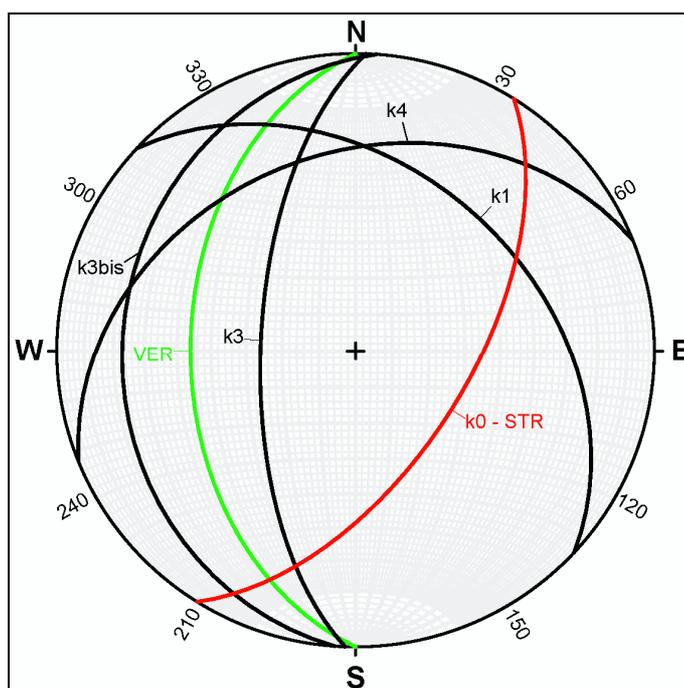
Rappresentazione fotografica



Discontinuità rilevate



Poli delle discontinuità rilevate

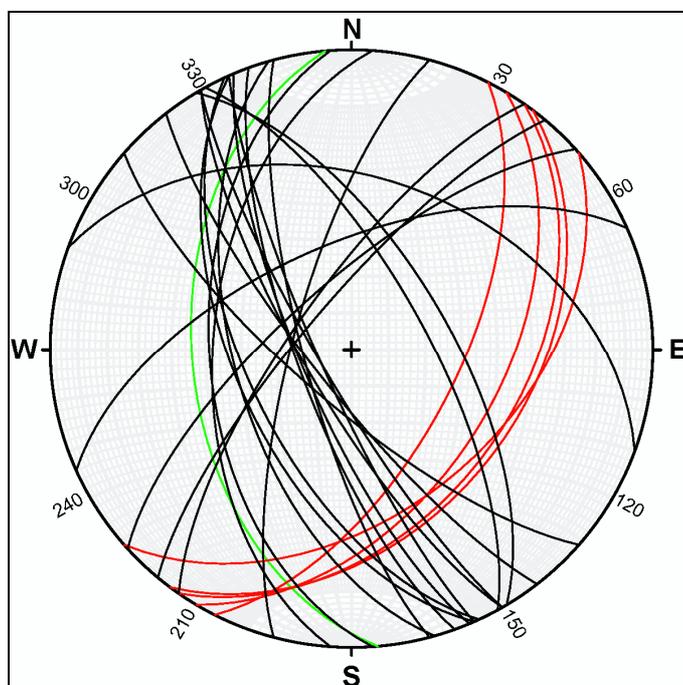


Famiglie di discontinuità

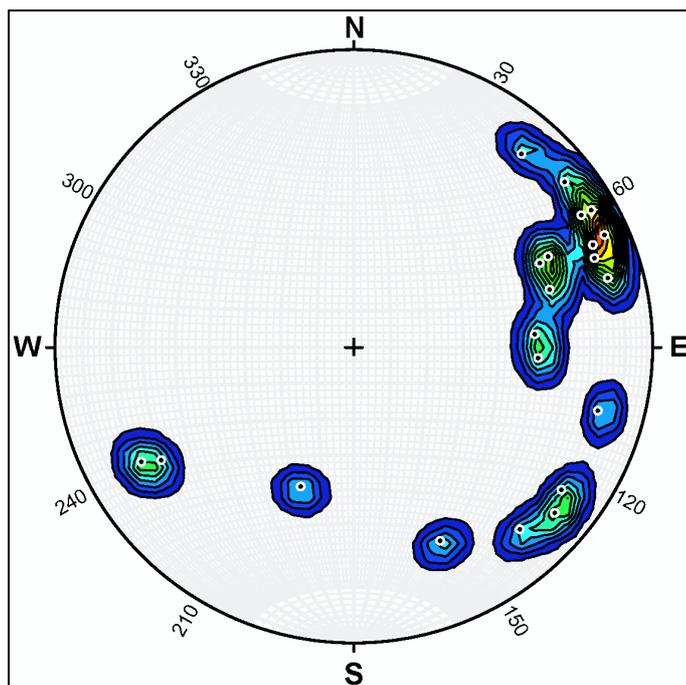
Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	122°	59°
k1	Fratturazione	43°	39°
K3	Fratturazione	272°	64°
k3bis	Fratturazione	274°	23°
k4	Fratturazione	338°	34°

Finestra di rilevamento F4 – Alternanze calcarenitico pelitiche (rapporto A:P = 1:1).

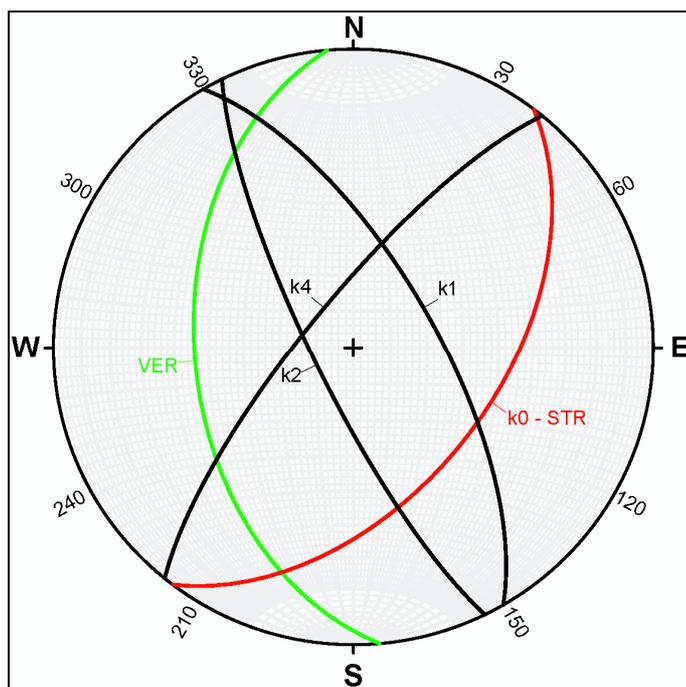
Rappresentazione fotografica



Discontinuità rilevate



Poli delle discontinuità rilevate

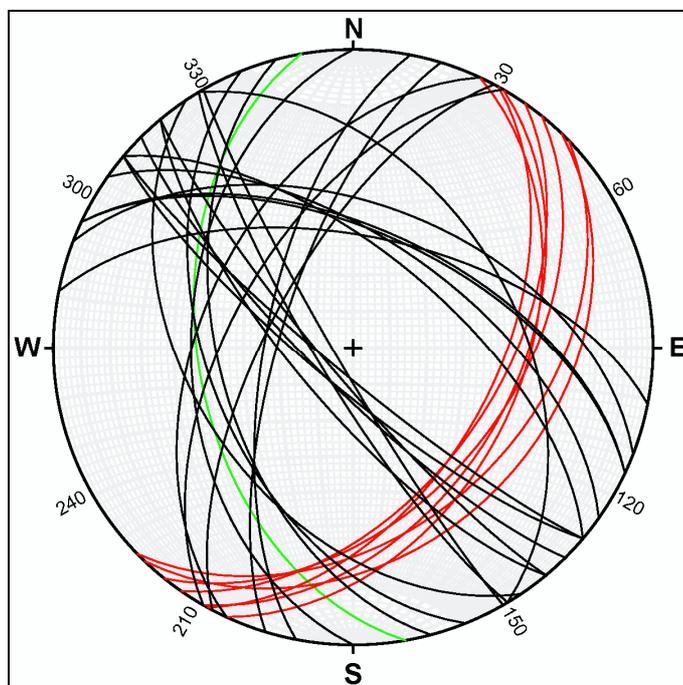


Famiglie di discontinuità

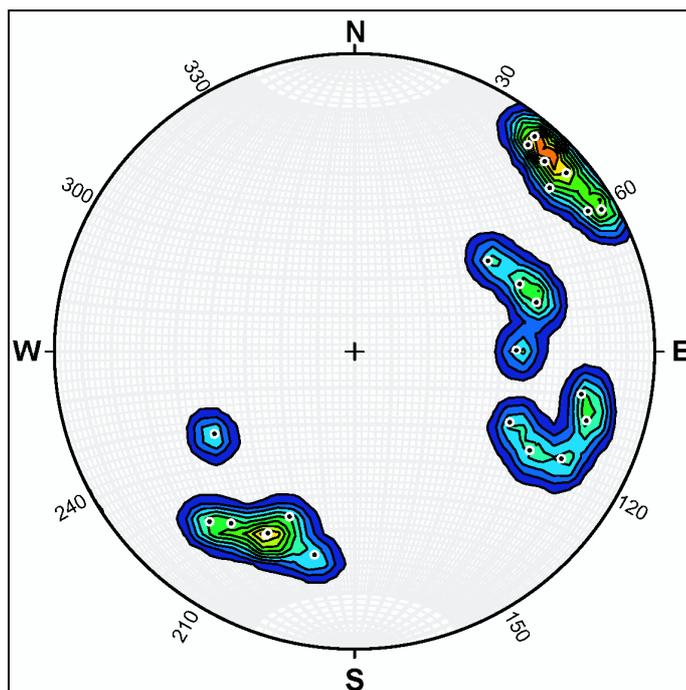
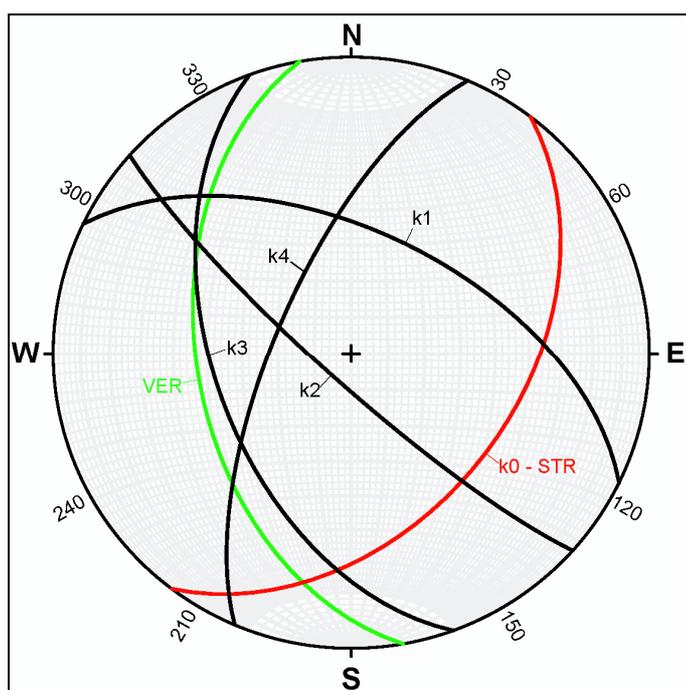
Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	127°	50°
k1	Fratturazione	60°	68°
k2	Fratturazione	244°	79°
k4	Fratturazione	309°	77°

Finestra di rilevamento F5 – Alternanze calcarenitico pelitiche (rapporto A:P = 2:1).

Rappresentazione fotografica



Discontinuità rilevate

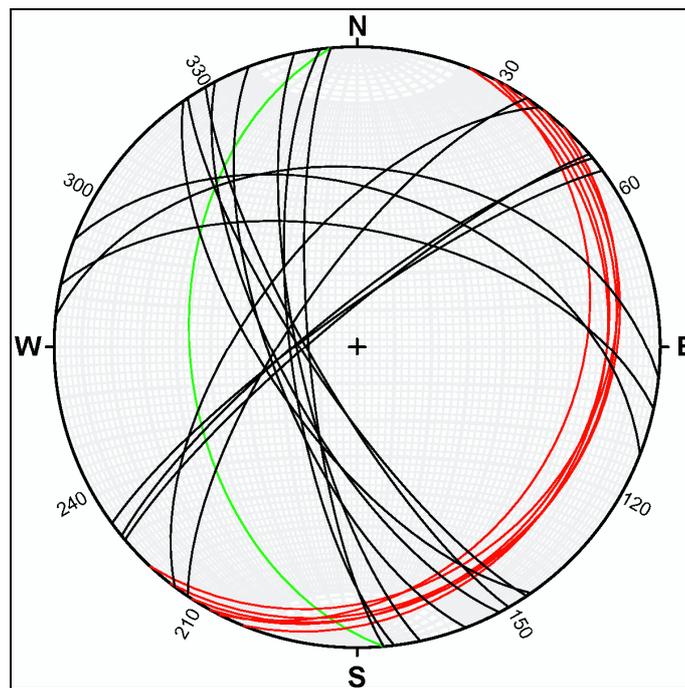
**Poli delle discontinuità rilevate****Famiglie di discontinuità**

Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	127°	43°
k1	Fratturazione	26°	56°
k2	Fratturazione	222°	82°
k3	Fratturazione	250°	82°
k4	Fratturazione	293°	69°

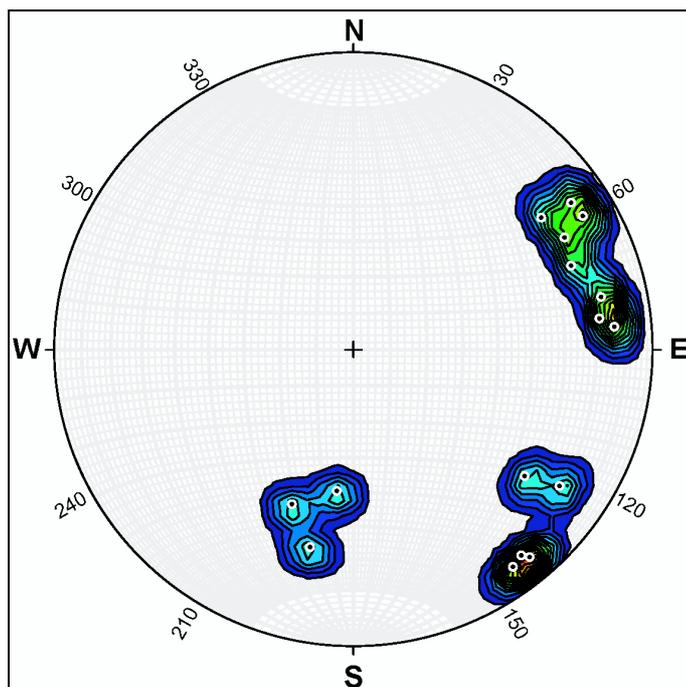
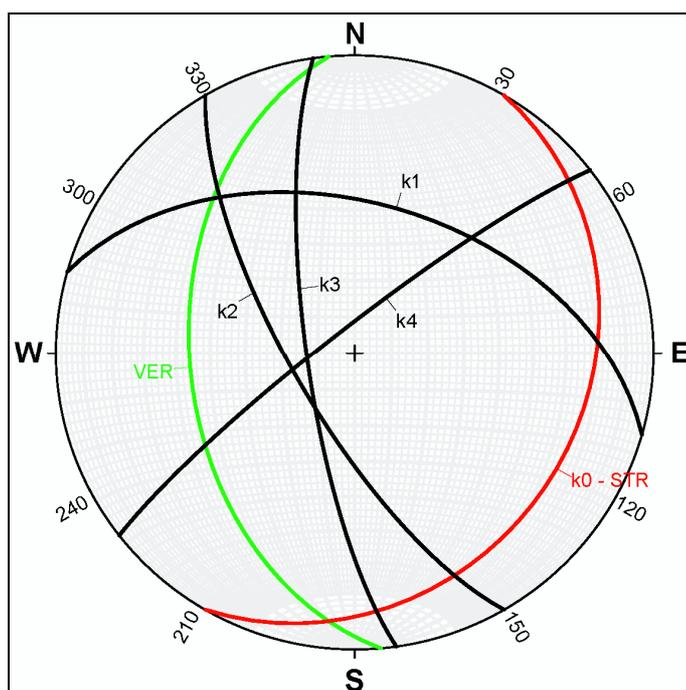
Finestra di rilevamento F6 – Blocchi calcarenitici amalgamati con sottili intercalazioni pelitiche (rapporto A:P = 3:1).



Rappresentazione fotografica



Discontinuità rilevate

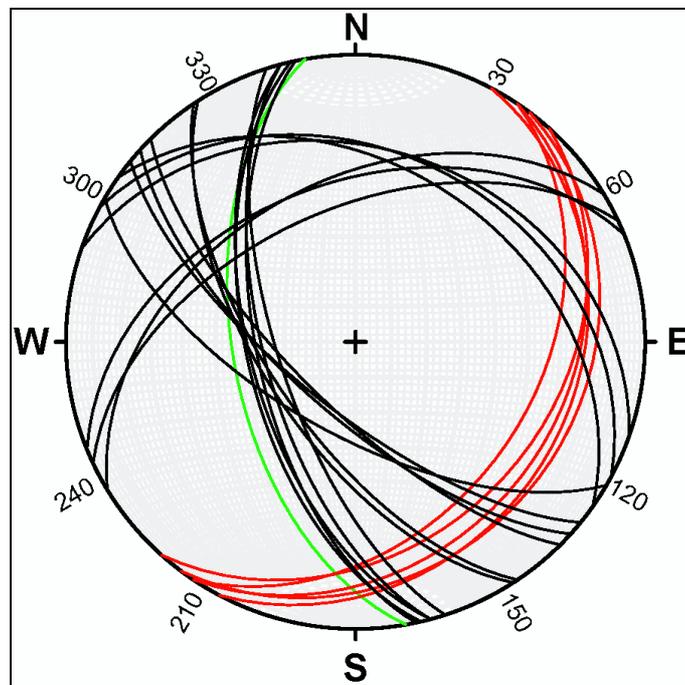
**Poli delle discontinuità rilevate****Famiglie di discontinuità**

Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	120°	23°
k1	Fratturazione	16°	48°
k2	Fratturazione	240°	71°
k3	Fratturazione	262°	77°
k4	Fratturazione	322°	83°

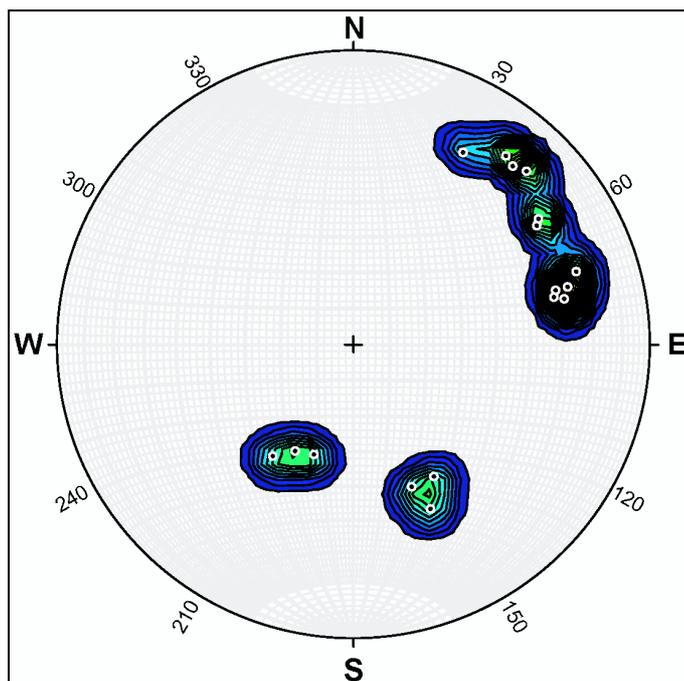
Finestra di rilevamento F7 – Bancate calcarenitiche amalgamate in nicchia di distacco, con sottili intercalazioni pelitiche (rapporto A:P = 3:1).



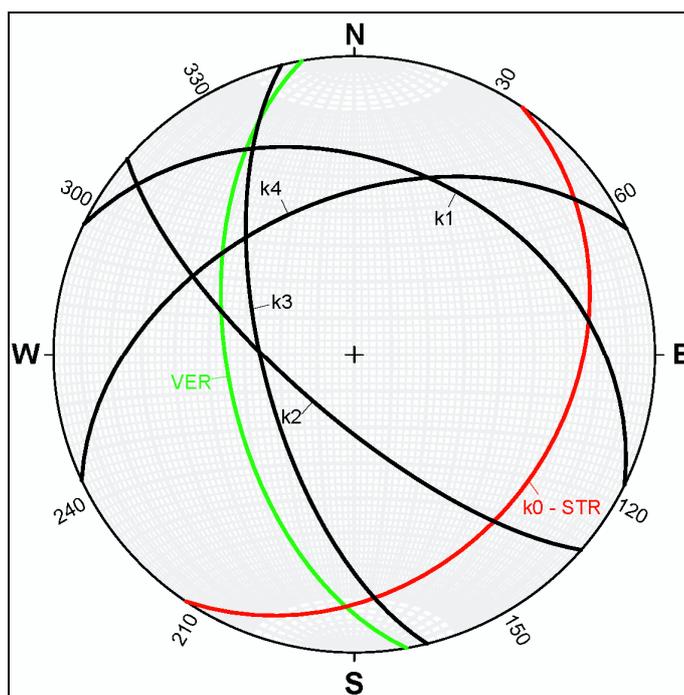
Rappresentazione fotografica



Discontinuità rilevate



Poli delle discontinuità rilevate

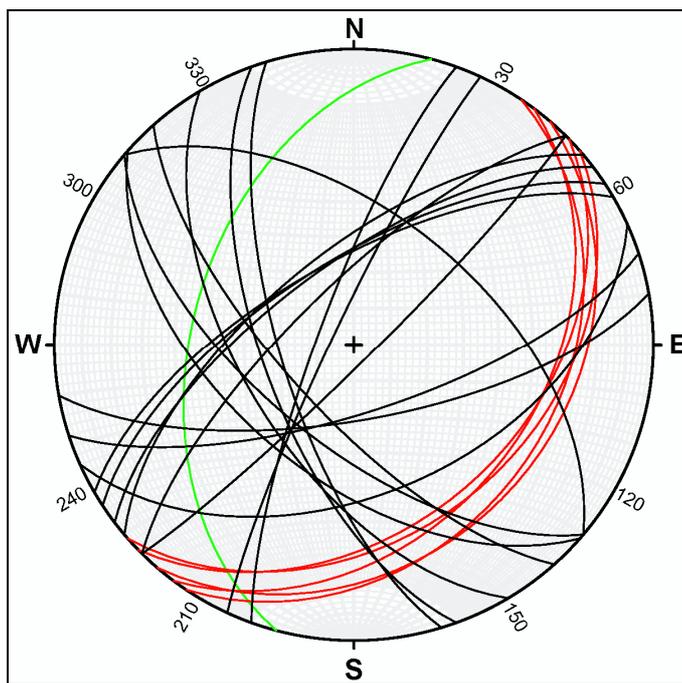


Famiglie di discontinuità

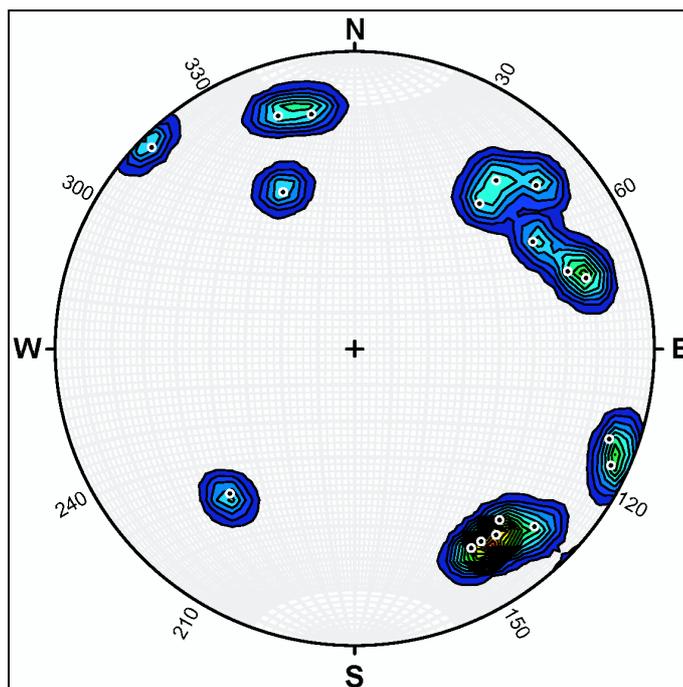
Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	124°	29°
k1	Fratturazione	26°	36°
k2	Fratturazione	221°	73°
k3	Fratturazione	256°	65°
k4	Fratturazione	335°	47°

Finestra di rilevamento F8 – Bancata calcarenitica massiva.

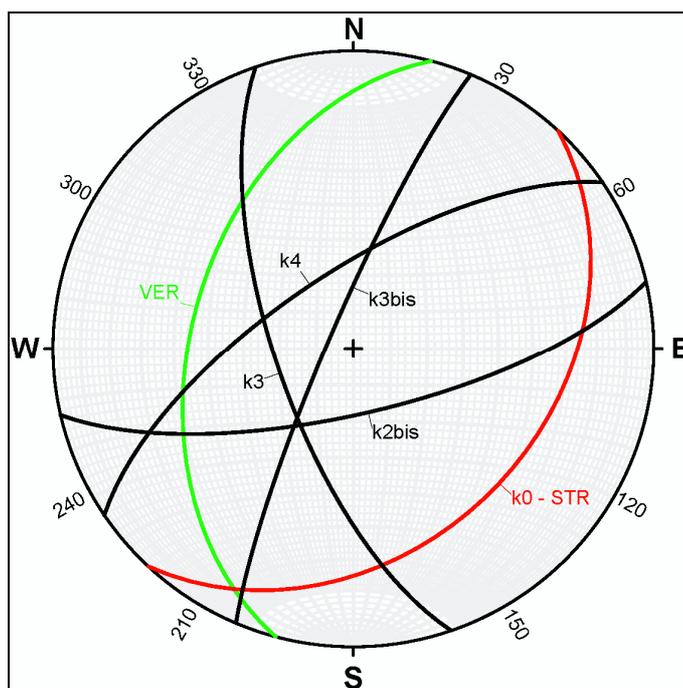
Rappresentazione fotografica



Discontinuità rilevate



Poli delle discontinuità rilevate



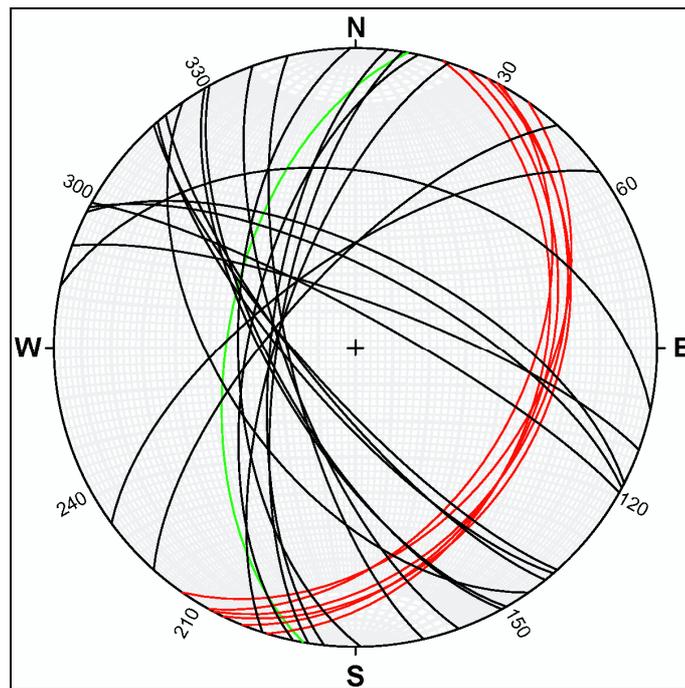
Famiglie di discontinuità

Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	133°	34°
k2bis	Fratturazione	167°	72°
k3	Fratturazione	251°	69°
k3bis	Fratturazione	293°	83°
k4	Fratturazione	326°	69°

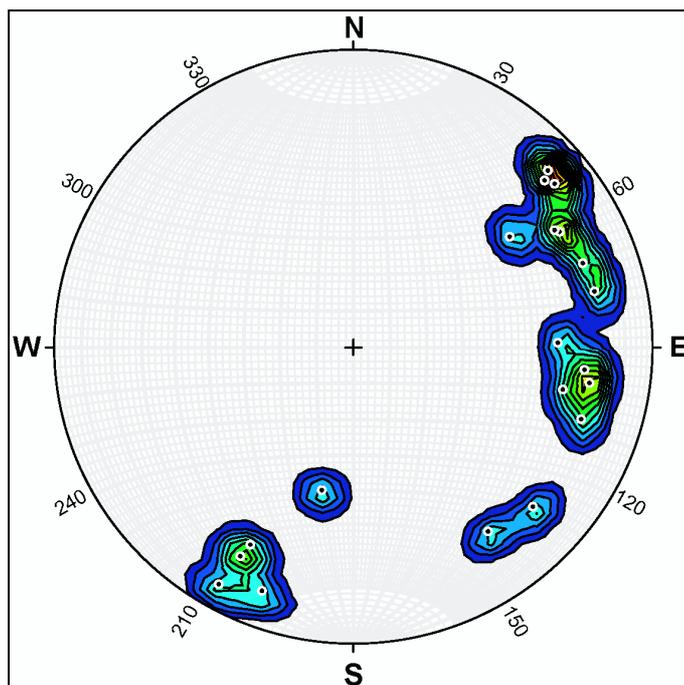
Finestra di rilevamento F9 – Strati calcarenitici amalgamati.



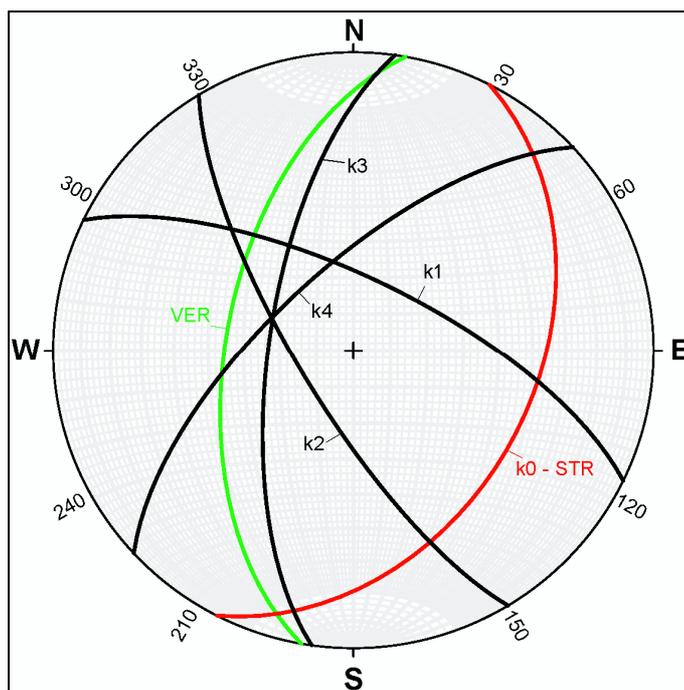
Rappresentazione fotografica



Discontinuità rilevate



Poli delle discontinuità rilevate



Famiglie di discontinuità

Set	Tipo	Range di immersione Dip direction	Range di inclinazione Dip
k0 - STR	Stratificazione (STR)	117°	39°
k1	Fratturazione	26°	70°
k2	Fratturazione	239°	75°
k3	Fratturazione	278°	67°
k4	Fratturazione	317°	68°

CONSIDERAZIONI GENERALI SULLE FAMIGLIE DI DISCONTINUITÀ RILEVATE

La stratificazione **K0 – STR** si presenta a reggipoggio, con immersione verso sud est, con componente secondaria a traverpoggio. Detta famiglia contribuisce significativamente ai fenomeni di crollo, sbloccando i cunei rocciosi alla base e al tetto.

La famiglia **K1** è caratterizzata generalmente da giacitura a traverpoggio, con componente secondaria a reggipoggio; talora risulta tiltata. La direzione di immersione è nord est o nord a seconda della finestra di rilevamento, mentre l'inclinazione è compresa tra 36° e 72°.

La famiglia **K2 e K4** presentano giacitura a traverpoggio, con componente secondaria a franapoggio ad inclinazione maggiore rispetto al pendio e concorrono al processo di crollo, determinando il distacco laterale dei diedri e tetraedri rocciosi.

In particolare, K2 ha giacitura pseudo verticale e assume un'importanza strategica per il distacco dei cunei rocciosi, costituendo il fronte di distacco a tergo dei blocchi.

La famiglia **k2bis** ha orientazione a traverpoggio, con direzione di immersione verso sud.

La famiglia **K3** risulta a franapoggio con inclinazione maggiore rispetto al pendio e direzione di immersione verso est.

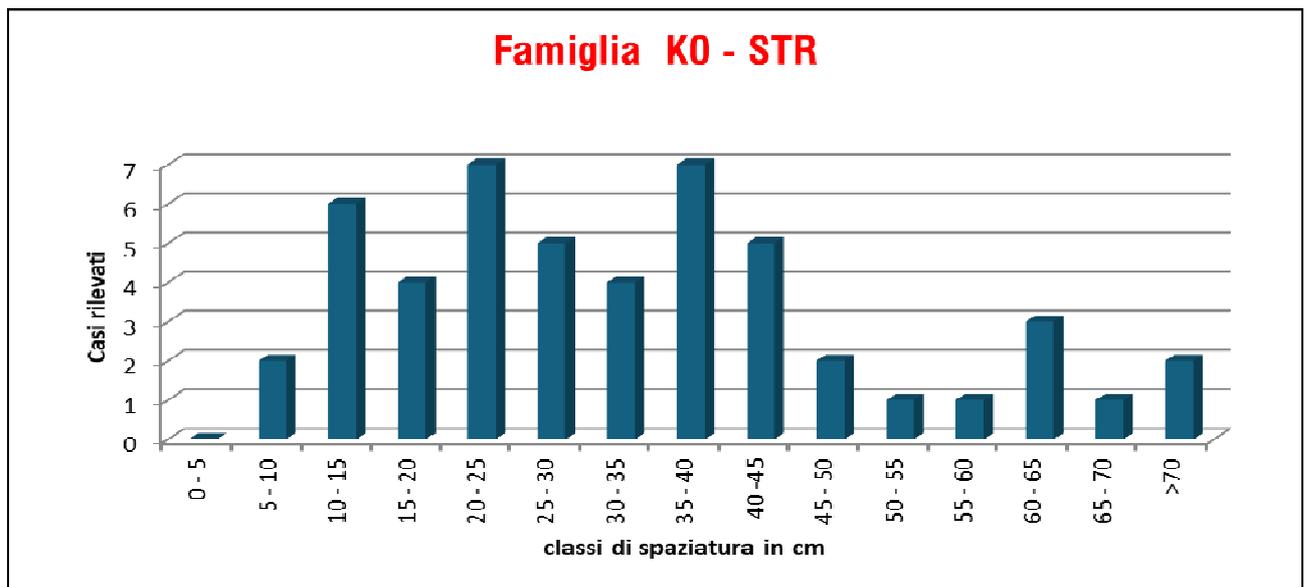
Con la stessa orientazione si presenta la famiglia **K3bis**, la quale è caratterizzata da una pendenza minore rispetto a quella del pendio e pertanto contribuisce allo scivolamento planare dei blocchi rocciosi.

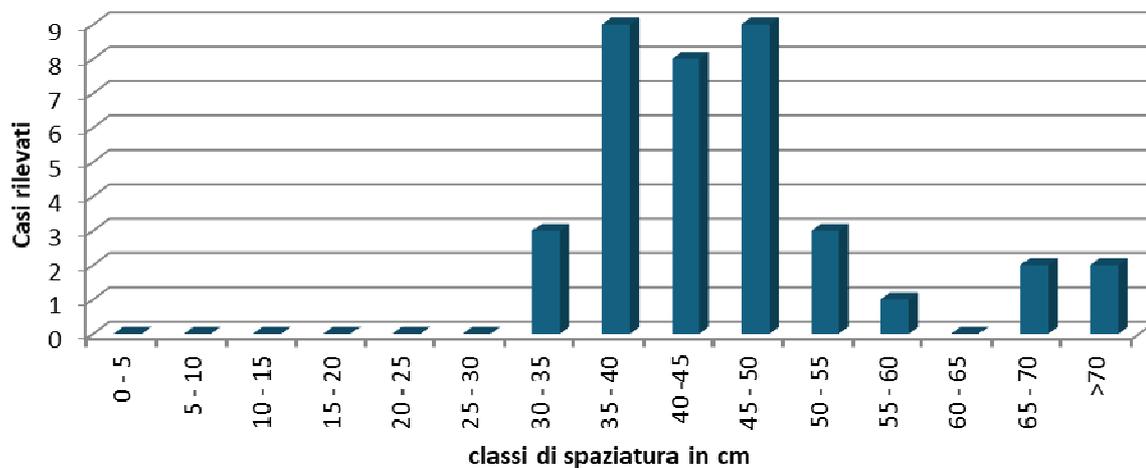
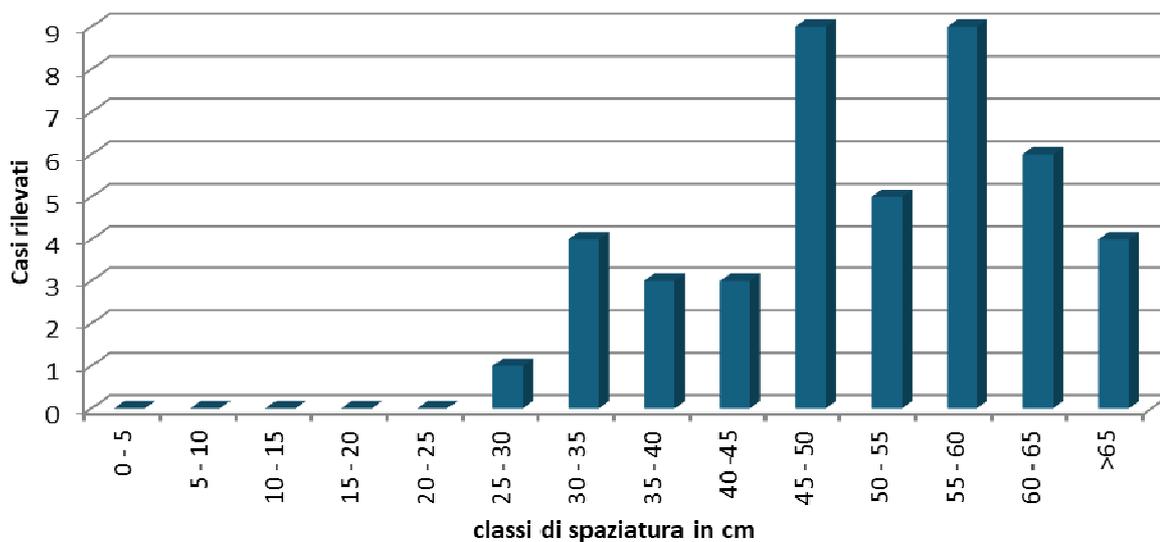
PERSISTENZA E SPAZIATURA

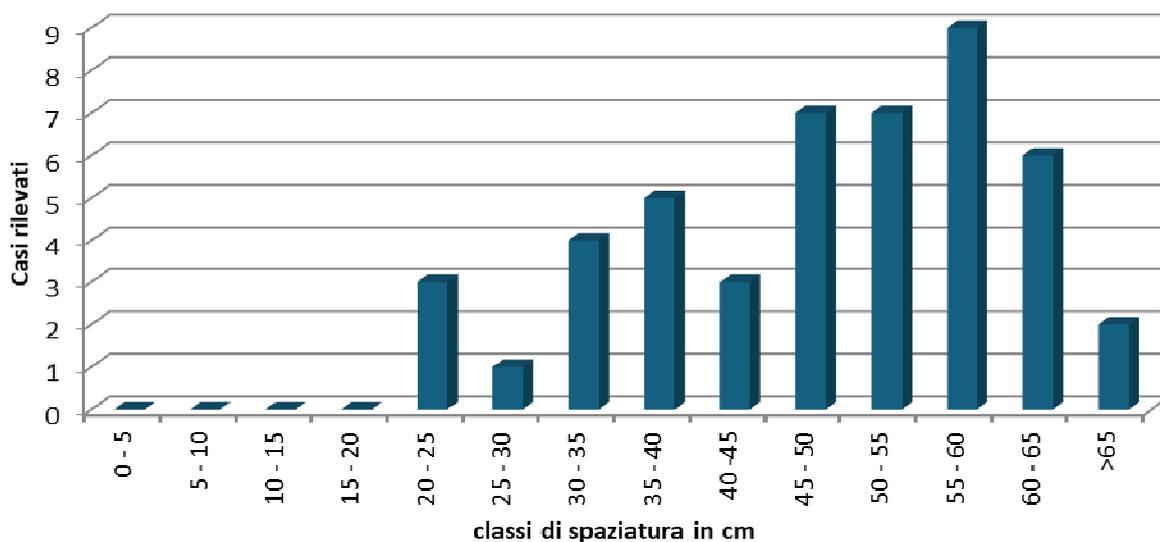
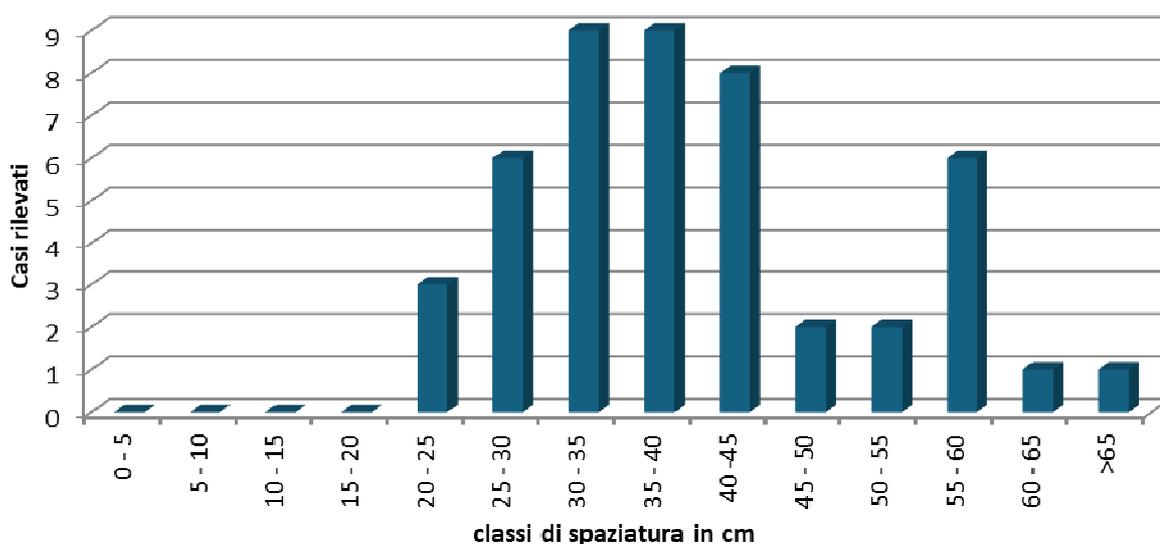
Sono state rilevate due differenti e significative condizioni di persistenza e apertura dei giunti associati alle varie famiglie di fratturazione (**K0, K1, K2, K3 e associate**):

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

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



Famiglia K1**Famiglia K2 e K2bis**

Famiglia K3 e K3bis**Famiglia K4****Classi di spaziatura per i giunti a elevata persistenza ed apertura appartenenti ai quattro sistemi di discontinuità**

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

Famiglia	Sp ₉₅ (cm)
k0	62
k1	58
k2 e k2bis	70
k3 e k3bis	63
k4	56

RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE

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

Le prove sclerometriche hanno evidenziato due ambiti di resistenza alla compressione monoassiale: la roccia non alterata presenta media resistenza meccanica ($JCS_k = 41,90$ MPa), quella alterata valori medio bassi ($JCS_k = 30,19$ MPa).

SCABREZZA DELLE DISCONTINUITÀ

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

Set	Tipo	JRC ₅
k0	Stratificazione (STR)	4,31
k1	Fratturazione	1,33
k2	Fratturazione	2,04
k2bis	Fratturazione	1,44
K3	Fratturazione	3,12
K3bis	Fratturazione	2,10
K4	Fratturazione	1,23

Classi di scabrezza per i giunti a media- elevata persistenza (maggiore di 2 m) ed apertura appartenenti ai quattro sistemi di discontinuità individuati.

Si evincono valori molto bassi di scabrezza sulle discontinuità.

CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE

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

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

CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO – PARAMETRI GEOMECCANICI

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

- **GSI:** 48
- **RMRb:** 50,20
- **RMRc:** 34,43
- **γ_n** = 25 kN/mc

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Parametro geomeccanico	Beniawsky	Hoek & Brown
ϕ' ammasso	35,1°	28,2°
C ammasso	0,17 MPa	1,85 MPa

DATI GEOMECCANICI DELLE FAMIGLIE DI DISCONTINUITÀ RILEVATE

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

Parametri	K0	K1	K2	K2bis	K3	K3bis	K4
Persistenza media (cm)	Scala di versante	Scala di versante	Scala di versante	Scala di versante	Scala di versante	Scala di versante	Scala di versante
Spd (cm)	62	58	70		63		56
Curvatura	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa	Bassa
Apertura media	-	Da 0 a 2 cm	Da 0 a 2 cm	Da 0 a 2 cm	Da 0 a 1 cm	Da 0 a 1 cm	Da 0 a 1 cm
Riempimento	Incoerente o nullo	Incoerente o nullo	Incoerente o nullo	Incoerente o nullo	Incoerente o nullo	Incoerente o nullo	Incoerente o nullo
JRC_k	4,31	1,33	2,04	1,44	3,12	2,10	1,23
ϕ_{ik} °	27,5						
ϕ_{rk} °	16,13						
ϕ_k °	22,51	18,10	19,15	18,26	20,75	19,24	17,95
c (kPa)	69						
Presenza acqua	Discontinuità umide						

ANALISI DI STABILITÀ CINEMATICA

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

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

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

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

1) scivolamento planare di diedri rocciosi su K2 (raro).

Alcuni blocchi sono soggetti a scivolamento planare sul piano di discontinuità K2, **ove non è presente il confinamento laterale per precedenti distacchi**, nel caso l'inclinazione di questa famiglia sia inferiore a quella del versante e prevalga la sua componente giacitura a franapoggio.

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2) scivolamento diedri di pilastri rocciosi su K3bis.

Alcuni tetraedri e diedri rocciosi sono soggetti a scivolamento planare sul piano di discontinuità K3bis (in presenza di fatturazioni beanti),

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

3) scivolamento di cunei rocciosi sull'intersezione di K1–K2, K2–K4 e K4–K3bis.

Alcuni tetraedri rocciosi possono traslare sul piano di intersezione delle famiglie di discontinuità citate, ove l'asse d'intersezione si presenta a franapoggio e con immersione prossima a quella del versante.

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

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

4) Ribaltamento di diedri e tetraedri rocciosi aggettanti.

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

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

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

Le considerazioni presentate sono ulteriormente validate dalla presenza di una serie di discontinuità (appartenenti a tutte le famiglie di fratturazione) caratterizzate da persistenza a scala di versante, da spaziatura compresa tra 0,5 e 0,7 m e da apertura significativa, senza contatto di roccia.

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

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

DEFINIZIONE DEL BLOCCO DI PROGETTO E SPESSORE DELLA COLTRE

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

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

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

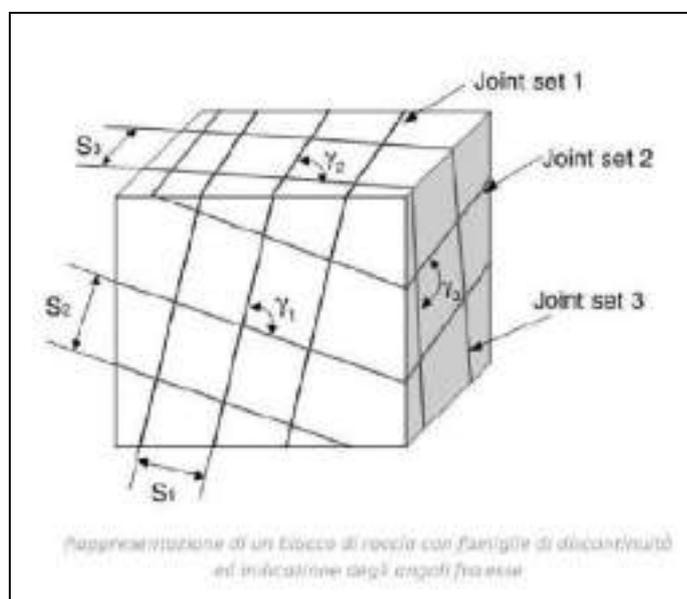


Dall'analisi in parete e dalle verifiche relative ai processi cinematici precedentemente descritti, si evincono i seguenti valori di **VRU (volume roccioso unitario)** e **m_d (massa dei blocchi di progetto)**.

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

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

dove S_1, S_2, S_3 sono le spazature medie dei set di discontinuità e $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ sono i valori medi degli angoli acuti tra i set 1, 2 e 3 di roccia considerata (figura a lato).



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

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

dove:

- V_b = il volume del blocco di progetto

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- γ = massa per unità di volume della roccia in sito;
- γ_{volF1} = coefficiente legato alla precisione del rilievo (assunta pari a 1,1);
- γ_{ψ} = coefficiente legato alla massa per unità di volume (assunto pari a 1,0).

Principali Cinematismi registrati	Volume Roccioso unitario (VRU)	Massa blocco di progetto (m_d)
Scivolamento planare su K2	0,284 mc	7,81 kN
Scivolamento planare su K3bis:	0,804 mc	22,11 kN
Scivolamento di diedri rocciosi su intersezione K1–K2	0,487 mc	13,39 kN
Scivolamento di diedri rocciosi su intersezione K2–K4	0,494 mc	13,59 kN
Ribaltamento di diedri e tetraedri rocciosi aggettanti su K1–K3	0,236 mc	6,49 kN
Ribaltamento di diedri e tetraedri rocciosi aggettanti su K1–K4	0,329 mc	9,05 kN
Ribaltamento di diedri e tetraedri rocciosi aggettanti su K2–K4	0,306 mc	8,42 kN

Il volume roccioso unitario (riferito a condizioni di progetto, quindi cautelativamente assunto al 95° percentile della distribuzione dei dati rilevati) risulta generalmente compreso tra **0,25 e 0,50 mc**, ad eccezione dei cunei rocciosi mobilitabili sulla **famiglia K3bis (ove presente)**, i quali presentano potenzialmente dimensioni volumetriche maggiori.

Si è, inoltre, prodotta, **la taratura del volume del blocco di progetto al piede del versante**, ove sono rilevabili, **blocchi compresi tra 0,1 e 0,35 mc**, oltre a numerosi detriti di pezzatura inferiore. Occorre precisare che alcuni di questi massi derivano, però, da frantumazioni di blocchi a dimensione maggiore.

Lo spessore massimo della coltre rocciosa alterata da stabilizzare, calcolata sia mediante raggio equivalente sia mediante dimensione massima all'interno del fronte della parete rocciosa, combinando le possibili intersezioni delle famiglie di discontinuità e i processi di alterazione agenti sul versante, risulta compreso tra **0,80 e 1,50 m**.

IPOTESI DI CONSOLIDAMENTO DELLA PARETE ROCCIOSA

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

Lo stato di alterazione dell'affioramento si presenta eterogeneo lungo sia lo sviluppo verticale che laterale; nell'allegato "Tav.4 - Definizione delle principali a maggiore suscettività al processo di crollo" sono evidenziate le aree a maggior e pericolosità.

Sono possibili sia cinematismi di scivolamento planare che di scivolamento sull'intersezione di discontinuità di cunei rocciosi, oltre che a processi di ribaltamento (soprattutto nei contesti di rocce affioranti in aggetto).

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

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

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

Lunghezza basale complessiva (su S.P 57)	Circa 120 m
Altezza massima in parete	56 m
Pendenza media	Compresa tra 45° e 60°
Fascia di ancoraggio in sommità degli interventi di mitigazione	1,5 m
Spessore della coltre da stabilizzare	Compreso tra 0,80 e 1,50 m

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

Ing. Giuseppe Herman	Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

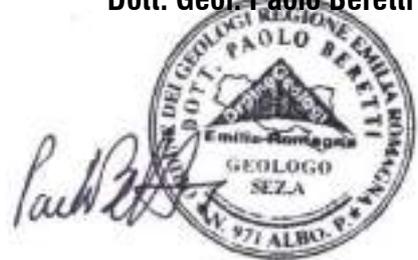
Per le caratteristiche geotecniche della coltre rocciosa da stabilizzare, **si consiglia di considerare i parametri geomeccanici delle discontinuità esplicitamente trattate**; relativamente al materiale roccioso a tergo (caratterizzato da minore grado di alterazione relativa) si possono considerare i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

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

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

Quattro Castella, Gennaio 2025

Dott. Geol. Paolo Beretti



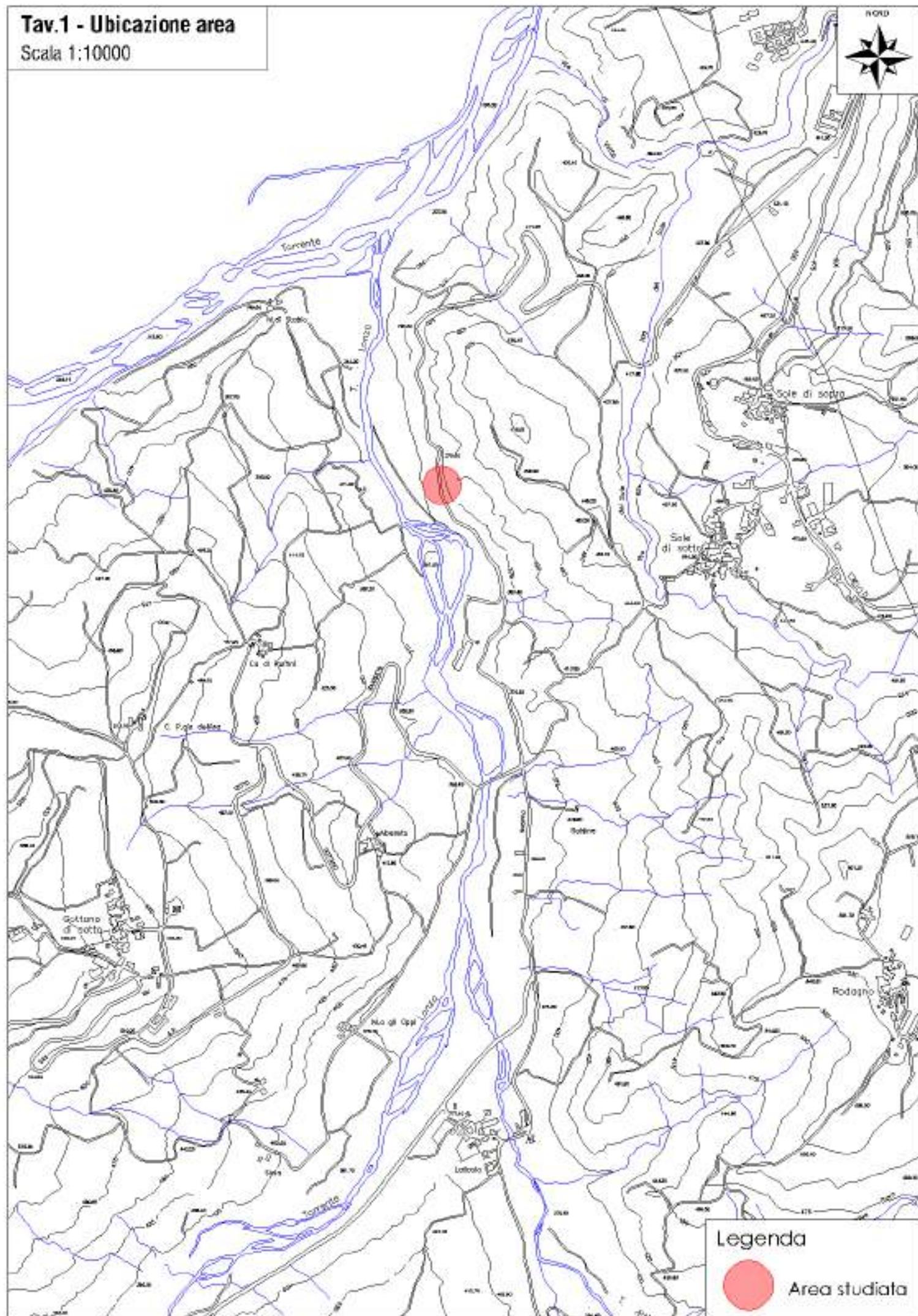
Ing. Giuseppe Herman	<i>Rapporto geologico, geomeccanico e strutturale</i>	Analisi geomeccanica e strutturale della parete rocciosa sita in corrispondenza del Km 2+400 della S.P. 57, in Comune di Vetto (RE)
----------------------	------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ALLEGATI

- Tav. 1. Ubicazione area
- Tav. 2. Carta geologica
- Tav. 3. Rilevamento geomeccanico e strutturale.
- Tav. 4. Definizione delle principali a maggiore suscettività al processo di crollo.
- Tav. 5 Rappresentazioni stereografiche delle finestre rilevate.
- Scheda riassuntiva – Rilevamento geomeccanico e strutturale.

Tav.1 - Ubicazione area

Scala 1:10000



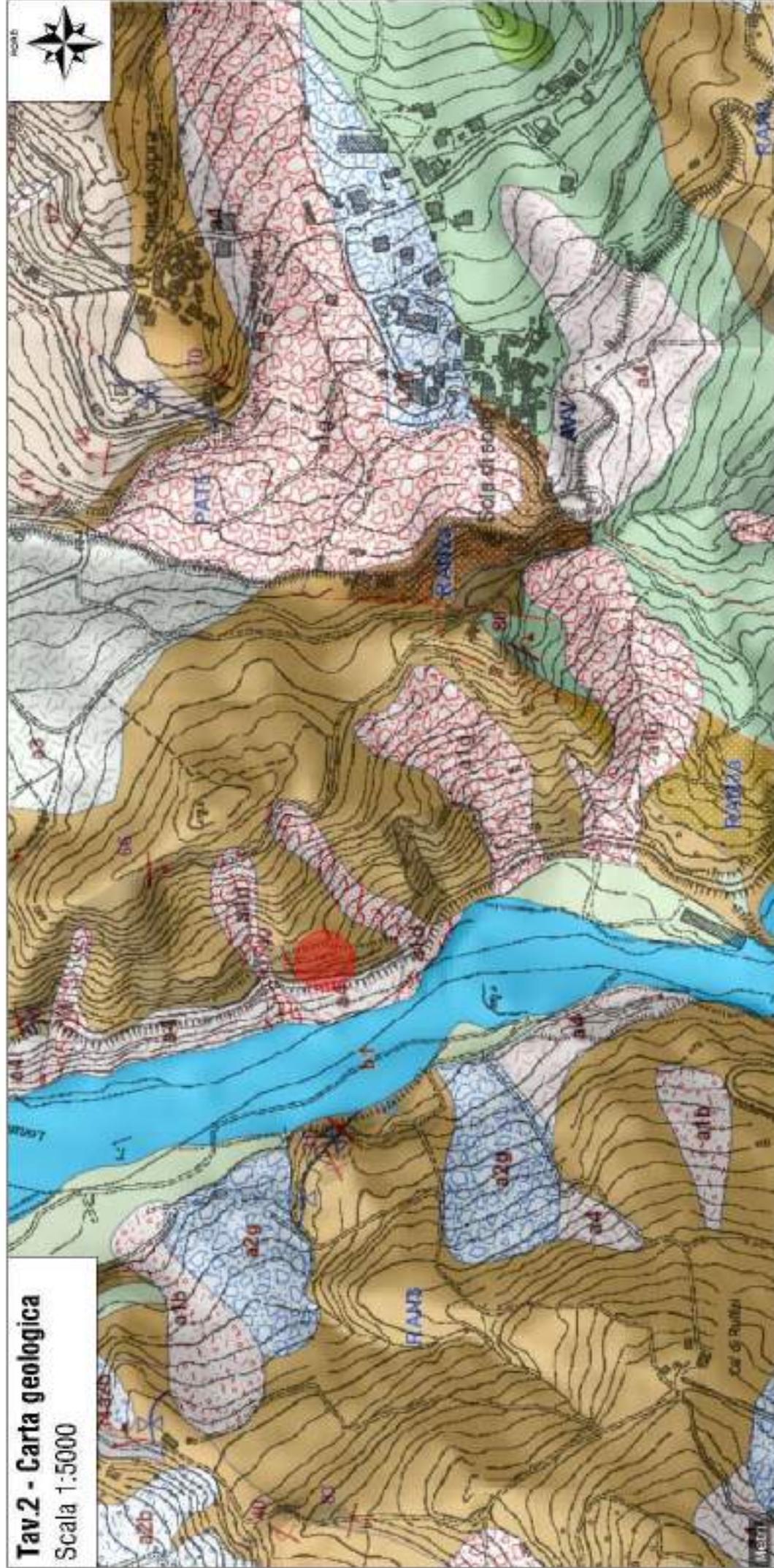
Legenda



Area studiata

Tav.2 - Carta geologica

Scala 1:5000



Coperture quaternarie

- a1b - Deposito di frana attiva per sovralluvamento
- a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango
- a1g - Deposito di frana attiva complessa
- a2b - Deposito di frana quiescente per sovralluvamento
- a2g - Deposito di frana quiescente complessa
- a3 - Deposito di versante s.l.
- a4 - Detrito eluvio-colluviale
- b1 - Deposito alluvionale in evoluzione

Unità geologiche

- AVV - Argille Varicolori di Casale
- RAN - Formazione di Ranzano
- RAN2 - Membro della Val Pessola
- RAN2a - Litofacies arenaceo-conglomeratica
- RAN3 - Membro di Varano dell'Helegiani
- PAT - Formazione di Parfano
- PAT5 - Membro della Pietra di Bismarbova
- Area studiata

Tav.3 - Rilevamento geomeccanico e strutturale

Dati generali affioramento roccioso	Ammasso roccioso	Discontinuità																																																																																																												
Località: Atticola di Vetto(RE) Cantiere: S.P.57 km 2+400	Classificazione Geological Strength Index	Test di Markland																																																																																																												
Data di rilevamento: Dicembre 2024 Giacitura delle discontinuità rilevate	GSI: <input type="text" value="48"/>	<p>potenziale instabilità per scivolamento</p> <table border="1"> <tr><td>alta</td><td><input type="text"/></td><td>media</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>bassa</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>nulla</td><td><input type="text"/></td></tr> </table> <p>potenziale instabilità per ribaltamento</p> <table border="1"> <tr><td>alta</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>media</td><td><input type="text"/></td></tr> <tr><td>bassa</td><td><input type="text"/></td><td>nulla</td><td><input type="text"/></td></tr> </table>	alta	<input type="text"/>	media	<input type="text"/>	bassa	<input checked="" type="checkbox"/>	nulla	<input type="text"/>	alta	<input checked="" type="checkbox"/>	media	<input type="text"/>	bassa	<input type="text"/>	nulla	<input type="text"/>																																																																																												
alta	<input type="text"/>	media	<input type="text"/>																																																																																																											
bassa	<input checked="" type="checkbox"/>	nulla	<input type="text"/>																																																																																																											
alta	<input checked="" type="checkbox"/>	media	<input type="text"/>																																																																																																											
bassa	<input type="text"/>	nulla	<input type="text"/>																																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr><th>Famiglia</th><th>Immersione</th><th>Inclinazione</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Versante</td><td>255 ÷ 285</td><td>44 ÷ 60</td></tr> <tr><td>Stratificazione - k0</td><td>117 ÷ 137</td><td>23 ÷ 60</td></tr> <tr><td>k1</td><td>8 ÷ 60</td><td>36 ÷ 73</td></tr> <tr><td>k2</td><td>215 ÷ 244</td><td>69 ÷ 82</td></tr> <tr><td>k2bis</td><td>167 ÷ 170</td><td>54 ÷ 72</td></tr> <tr><td>k3</td><td>250 ÷ 278</td><td>57 ÷ 77</td></tr> <tr><td>k3bis</td><td>274 ÷ 293</td><td>23 ÷ 83</td></tr> <tr><td>k4</td><td>293 ÷ 338</td><td>34 ÷ 83</td></tr> </tbody> </table>	Famiglia	Immersione	Inclinazione	Versante	255 ÷ 285	44 ÷ 60	Stratificazione - k0	117 ÷ 137	23 ÷ 60	k1	8 ÷ 60	36 ÷ 73	k2	215 ÷ 244	69 ÷ 82	k2bis	167 ÷ 170	54 ÷ 72	k3	250 ÷ 278	57 ÷ 77	k3bis	274 ÷ 293	23 ÷ 83	k4	293 ÷ 338	34 ÷ 83	Classificazione Beniaowski	Caratteristiche di resistenza al taglio delle discontinuità																																																																																	
Famiglia	Immersione	Inclinazione																																																																																																												
Versante	255 ÷ 285	44 ÷ 60																																																																																																												
Stratificazione - k0	117 ÷ 137	23 ÷ 60																																																																																																												
k1	8 ÷ 60	36 ÷ 73																																																																																																												
k2	215 ÷ 244	69 ÷ 82																																																																																																												
k2bis	167 ÷ 170	54 ÷ 72																																																																																																												
k3	250 ÷ 278	57 ÷ 77																																																																																																												
k3bis	274 ÷ 293	23 ÷ 83																																																																																																												
k4	293 ÷ 338	34 ÷ 83																																																																																																												
	<table border="1"> <thead> <tr><th></th><th>str / ko</th><th>k1</th><th>k2</th><th>k2bis</th><th>k3</th><th>k3bis</th><th>k4</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>a1</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>a2</td><td>13</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td></tr> <tr><td>a3</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>a4</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>a5</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>a6</td><td>-2</td><td>-15</td><td>-15</td><td>-15</td><td>-15</td><td>-25</td><td>-25</td></tr> <tr><td>RMRb</td><td>47</td><td>51</td><td>51</td><td>51</td><td>51</td><td>51</td><td>51</td></tr> <tr><td>RMRc</td><td>45</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>36</td><td>26</td><td>26</td></tr> </tbody> </table>		str / ko	k1	k2	k2bis	k3	k3bis	k4	a1	4	4	4	4	4	4	4	a2	13	17	17	17	17	17	17	a3	10	10	10	10	10	10	10	a4	10	10	10	10	10	10	10	a5	10	10	10	10	10	10	10	a6	-2	-15	-15	-15	-15	-25	-25	RMRb	47	51	51	51	51	51	51	RMRc	45	36	36	36	36	26	26	<table border="1"> <thead> <tr><th>Str / k0</th><th>k1</th><th>k2</th><th>k2bis</th><th>k3</th><th>k3bis</th><th>k4</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>117 ÷ 137</td><td>8 ÷ 60</td><td>215 ÷ 244</td><td>167 ÷ 170</td><td>250 ÷ 278</td><td>274 ÷ 293</td><td>293 ÷ 338</td></tr> <tr><td>23 ÷ 60</td><td>36 ÷ 73</td><td>69 ÷ 82</td><td>54 ÷ 72</td><td>57 ÷ 77</td><td>23 ÷ 83</td><td>34 ÷ 83</td></tr> </tbody> </table>	Str / k0	k1	k2	k2bis	k3	k3bis	k4	117 ÷ 137	8 ÷ 60	215 ÷ 244	167 ÷ 170	250 ÷ 278	274 ÷ 293	293 ÷ 338	23 ÷ 60	36 ÷ 73	69 ÷ 82	54 ÷ 72	57 ÷ 77	23 ÷ 83	34 ÷ 83															
	str / ko	k1	k2	k2bis	k3	k3bis	k4																																																																																																							
a1	4	4	4	4	4	4	4																																																																																																							
a2	13	17	17	17	17	17	17																																																																																																							
a3	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																							
a4	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																							
a5	10	10	10	10	10	10	10																																																																																																							
a6	-2	-15	-15	-15	-15	-25	-25																																																																																																							
RMRb	47	51	51	51	51	51	51																																																																																																							
RMRc	45	36	36	36	36	26	26																																																																																																							
Str / k0	k1	k2	k2bis	k3	k3bis	k4																																																																																																								
117 ÷ 137	8 ÷ 60	215 ÷ 244	167 ÷ 170	250 ÷ 278	274 ÷ 293	293 ÷ 338																																																																																																								
23 ÷ 60	36 ÷ 73	69 ÷ 82	54 ÷ 72	57 ÷ 77	23 ÷ 83	34 ÷ 83																																																																																																								
Finestre di rilevamento: F1 - F9	RMRb ammasso: <input type="text" value="50,20"/> RMRc ammasso: <input type="text" value="34,43"/>	Caratteristiche di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso																																																																																																												
Formazioni affioranti: <input type="text" value="RAN3 - Formazione di Ranzano - Membro di Varano de' Melegari"/>	Resistenza a compressione monoassiale	Caratteristiche di resistenza al taglio delle discontinuità																																																																																																												
	JCS (MPa): <input type="text" value="41,90"/> JCSa (MPa): <input type="text" value="30,19"/>	<table border="1"> <thead> <tr><th>Str / k0</th><th>k1</th><th>k2</th><th>k2bis</th><th>k3</th><th>k3bis</th><th>k4</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>117 ÷ 137</td><td>8 ÷ 60</td><td>215 ÷ 244</td><td>167 ÷ 170</td><td>250 ÷ 278</td><td>274 ÷ 293</td><td>293 ÷ 338</td></tr> <tr><td>23 ÷ 60</td><td>36 ÷ 73</td><td>69 ÷ 82</td><td>54 ÷ 72</td><td>57 ÷ 77</td><td>23 ÷ 83</td><td>34 ÷ 83</td></tr> </tbody> </table>	Str / k0	k1	k2	k2bis	k3	k3bis	k4	117 ÷ 137	8 ÷ 60	215 ÷ 244	167 ÷ 170	250 ÷ 278	274 ÷ 293	293 ÷ 338	23 ÷ 60	36 ÷ 73	69 ÷ 82	54 ÷ 72	57 ÷ 77	23 ÷ 83	34 ÷ 83																																																																																							
Str / k0	k1	k2	k2bis	k3	k3bis	k4																																																																																																								
117 ÷ 137	8 ÷ 60	215 ÷ 244	167 ÷ 170	250 ÷ 278	274 ÷ 293	293 ÷ 338																																																																																																								
23 ÷ 60	36 ÷ 73	69 ÷ 82	54 ÷ 72	57 ÷ 77	23 ÷ 83	34 ÷ 83																																																																																																								
Descrizione: <input type="text" value="Flysch torbido con strati sottili e raramente medi, calcarenitici di spessore tra 5-10 cm (a tratti amalgamati) e intercalazioni pelitiche sottili - medio sottili. Rapporto A:P = 3:1"/>	Criterio di Beniaowski	Parametri derivati da analisi statistica su tutte le famiglie																																																																																																												
	<table border="1"> <thead> <tr><th>c' (kPa)</th><th>φ' (°)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>172,14</td><td>35,1</td></tr> </tbody> </table>	c' (kPa)	φ' (°)	172,14	35,1	<table border="1"> <tbody> <tr><td>lb_k</td><td colspan="7">26,58</td></tr> <tr><td>lb_{k alt}</td><td colspan="7">11,47</td></tr> <tr><td>JCS_k (MPa)</td><td colspan="7">41,90</td></tr> <tr><td>JCSalt_k (MPa)</td><td colspan="7">30,19</td></tr> <tr><td>φ_{b_k} (°)</td><td colspan="7">27,5</td></tr> <tr><td>φ_{r_k} (°)</td><td colspan="7">16,13</td></tr> <tr><td>φ_k (°)</td><td>22,51</td><td>18,10</td><td>19,15</td><td>18,26</td><td>20,75</td><td>19,24</td><td>17,95</td></tr> <tr><td>c (kPa)</td><td colspan="7">69</td></tr> <tr><td>JRC</td><td>4,31</td><td>1,33</td><td>2,04</td><td>1,44</td><td>3,12</td><td>2,1</td><td>1,23</td></tr> <tr><td>Spd</td><td>62</td><td>58</td><td colspan="2">70</td><td colspan="2">63</td><td>55</td></tr> <tr><td>riempim</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>φ'_{riemp} (°)</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>c'_{riemp} (kPa)</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	lb _k	26,58							lb _{k alt}	11,47							JCS _k (MPa)	41,90							JCSalt _k (MPa)	30,19							φ _{b_k} (°)	27,5							φ _{r_k} (°)	16,13							φ _k (°)	22,51	18,10	19,15	18,26	20,75	19,24	17,95	c (kPa)	69							JRC	4,31	1,33	2,04	1,44	3,12	2,1	1,23	Spd	62	58	70		63		55	riempim	-	-	-	-	-	-	-	φ' _{riemp} (°)	-	-	-	-	-	-	-	c' _{riemp} (kPa)	-	-	-	-	-	-	-
c' (kPa)	φ' (°)																																																																																																													
172,14	35,1																																																																																																													
lb _k	26,58																																																																																																													
lb _{k alt}	11,47																																																																																																													
JCS _k (MPa)	41,90																																																																																																													
JCSalt _k (MPa)	30,19																																																																																																													
φ _{b_k} (°)	27,5																																																																																																													
φ _{r_k} (°)	16,13																																																																																																													
φ _k (°)	22,51	18,10	19,15	18,26	20,75	19,24	17,95																																																																																																							
c (kPa)	69																																																																																																													
JRC	4,31	1,33	2,04	1,44	3,12	2,1	1,23																																																																																																							
Spd	62	58	70		63		55																																																																																																							
riempim	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																							
φ' _{riemp} (°)	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																							
c' _{riemp} (kPa)	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																							
Legenda:	Classificazione Beniaowski: a1=Resistenza roccia intatta; a2=RQD; a3= Spaziatura delle discontinuità; a4= Condizioni delle discontinuità; a5= Condizioni idrauliche; a6= Stabilità. Caratteristiche di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso: GSI= Geological Strength Index; RMRb= Rock Mass Rating base; RMRc= Rock Mass Rating corretto; JCS= Resistenza a compressione della parete della discontinuità; JCSa= Resistenza a compressione della parete della discontinuità; mi= costante dimensionale della roccia intatta legata all'assetto geologico e strutturale; mb=costante ridotta della roccia intatta; s, a= costanti dell'ammasso roccioso; D= fattore numerico che tiene conto del grado di disturbo subito dall'ammasso roccioso a seguito di uno scavo; φ _{amm} = angolo di attrito interno dell'ammasso roccioso; c' _{amm} = coesione dell'ammasso roccioso. Caratteristiche di resistenza al taglio delle discontinuità: lb _k = indice rimbalzo della discontinuità; lb _{k alt} = indice rimbalzo discontinuità alterate; JCS _k = Resistenza a compressione della parete della discontinuità; JCS _{alt} = Resistenza a compressione della parete della discontinuità alterata; φ _{b_k} = angolo d'attrito di base caratteristico; φ _{r_k} = angolo d'attrito residuo caratteristico; φ _k = angolo attrito caratteristico; riempim= natura del riempimento; JRC= Coefficiente di rugosità lungo il giunto; c' _{riemp} = coesione ammasso roccioso; φ' _{riemp} = angolo d'attrito del riempimento; c' _{riemp} = angolo d'attrito interno del riempimento; Spd = spaziatura di progetto.																																																																																																													

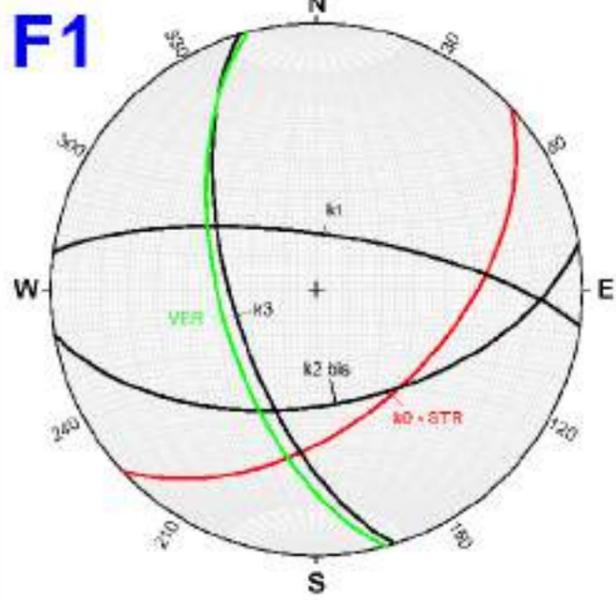
Tav. 4 - Definizione delle principali aree a maggiore suscettività al processo di crollo



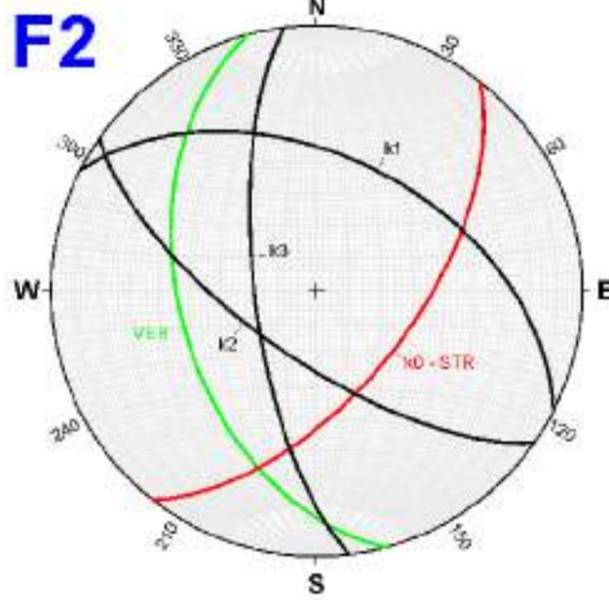
Legenda

-  Area soggetta ad intervento
-  Area ad elevata suscettività al processo di crollo
-  Ubicazione finestre di rilevamento geomeccanico e strutturale
-  Frana di crollo recente

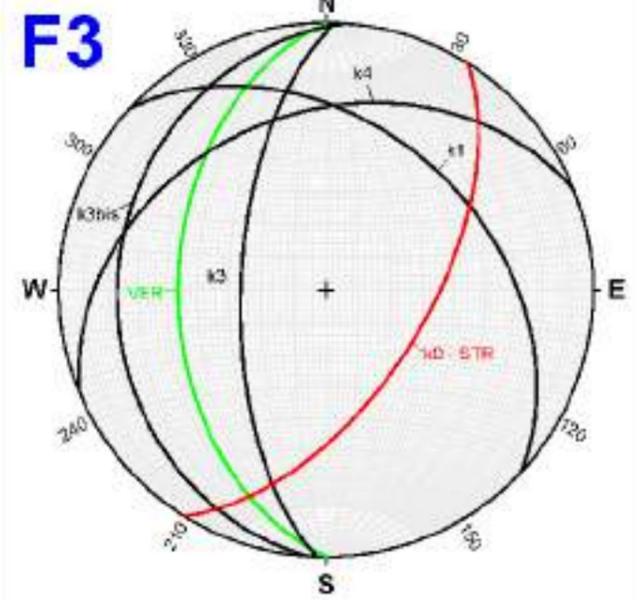
Tav.5 - Rappresentazioni stereografiche delle famiglie rilevate



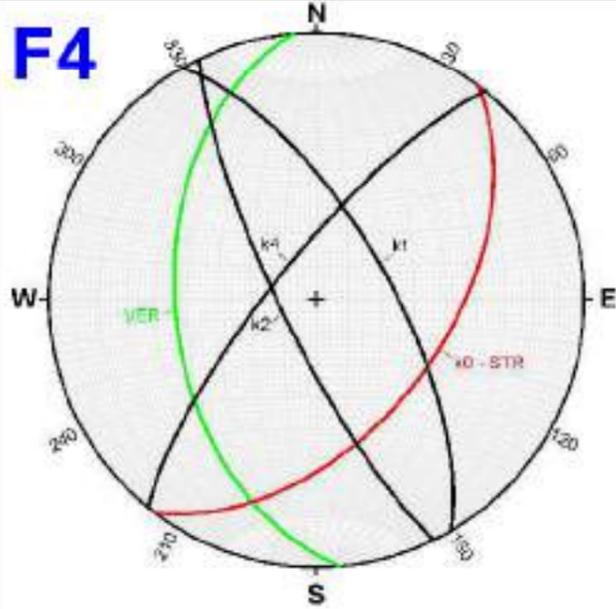
Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	255	60
k0 - STR	137	50
k1	8	73
k2 bis	170	54
k3	253	64



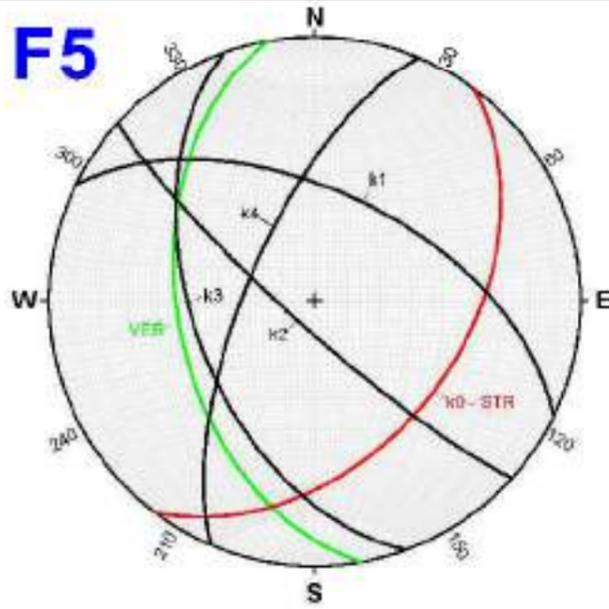
Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	255	47
k0 - STR	128	60
k1	27	48
k2	215	69
k3	263	71



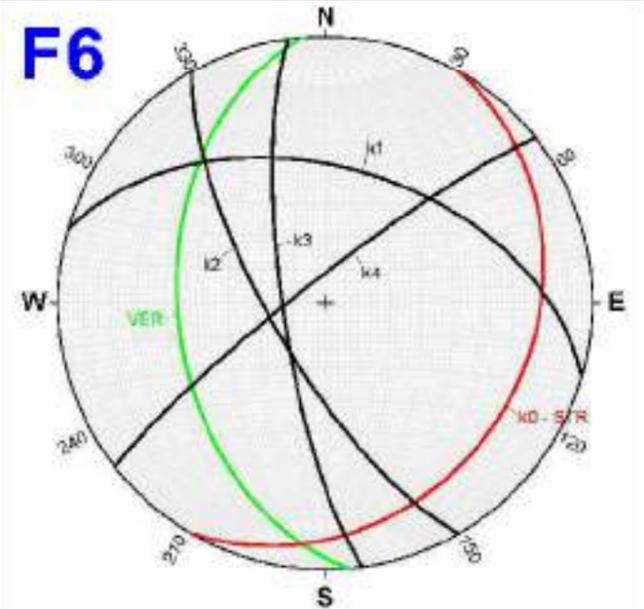
Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	270	44
k0 - STR	122	59
k1	43	39
k3	272	64
k3 bis	274	23
k4	338	34



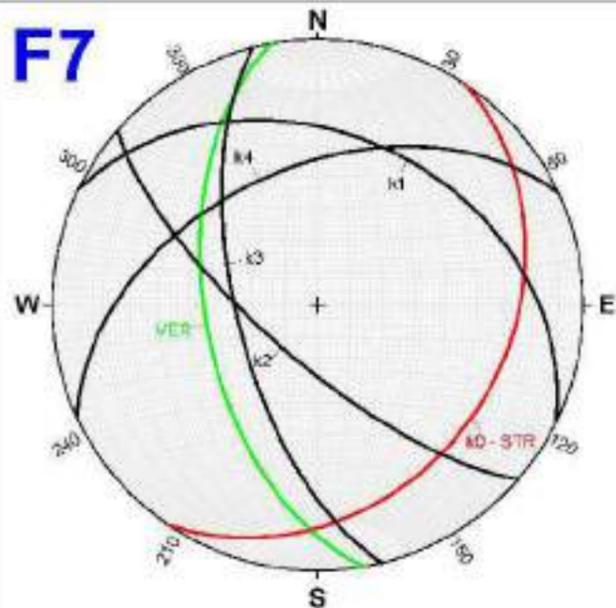
Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	265	46
k0 - STR	127	50
k1	60	68
k2	244	79
k4	309	77



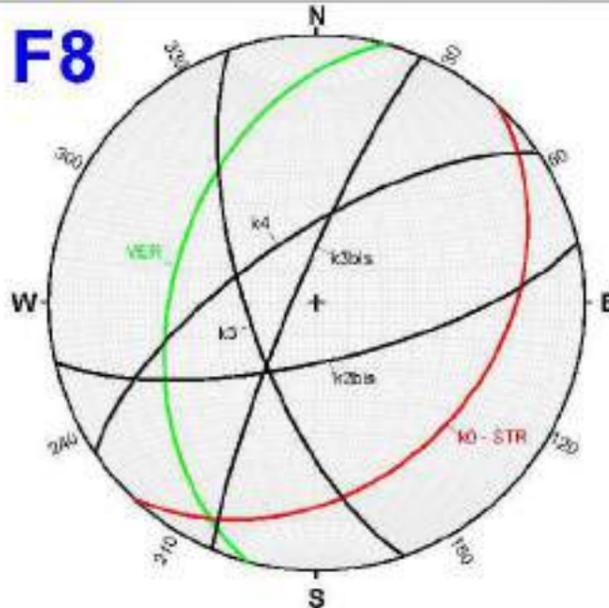
Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	260	47
k0 - STR	127	43
k1	28	56
k2	222	82
k3	250	52
k4	293	69



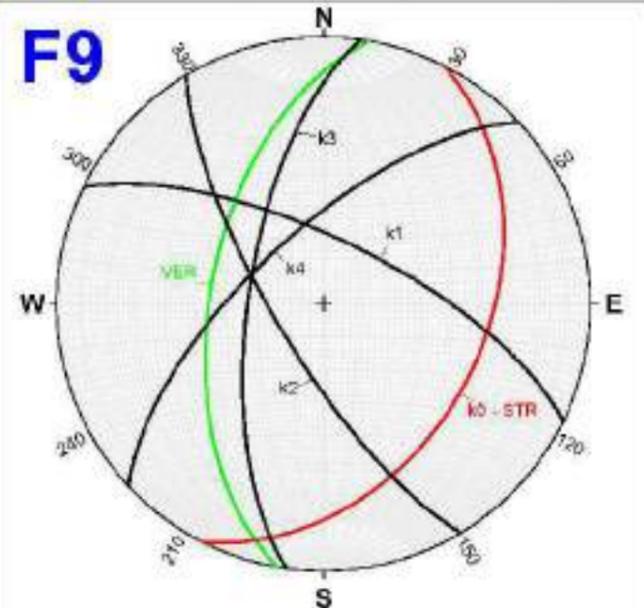
Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	265	44
k0 - STR	120	23
k1	18	48
k2	240	71
k3	262	77
k4	322	83



Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	260	55
k0 - STR	124	29
k1	26	36
k2	221	73
k3	256	65
k4	335	47



Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	285	45
k0 - STR	133	34
k2 bis	167	72
k3	251	69
k3 bis	293	83
k4	326	69



Famiglie	Immersione	Inclinazione
VER	280	55
k0 - STR	117	39
k1	26	70
k2	239	75
k3	278	67
k4	317	68

