

***Relazione metodologica relativa alla suscettibilità
all'innescò-transito-invasione per frane in roccia
Sito-campione di San Rufo (SA)***

INDICE

1. PREMESSA	4
2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA IN ESAME.....	5
2.1 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	5
2.2 ASSETTO GEOMORFOLOGICI	8
2.3 FENOMENI D'INSTABILITÀ.....	10
3. INDAGINI GEOSTRUTTURALI E GEOMECCANICHE.....	16
3.1 METODOLOGIA D'INDAGINE	16
3.2 SINTESI DEI RISULTATI.....	20
3.3 ANALISI DEI CINEMATISMI ATTESI	21
4. CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI.....	23
4.1 <i>ROCK MASS RATING</i>	24
4.1.1 <i>DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE UNIASSIALE</i>	25
4.1.2 <i>RQD</i>	27
4.1.3 <i>SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ</i>	28
4.1.4 <i>CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITÀ</i>	28
4.1.5 <i>CONDIZIONI IDRAULICHE</i>	32
4.1.6 <i>RMR DI BASE</i>	32
4.2 <i>SLOPE MASS RATING</i>	33
5. CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ A FRANARE	35
6. ANALISI DELLA CADUTA	36
7. CRITERI D'INTERVENTO	39
8. BIBLIOGRAFIA	41
APPENDICE A	43
APPENDICE B	59
APPENDICE C	65
STAZIONE ST1	66
STAZIONE ST2	68
STAZIONE ST3	70
STAZIONE ST4	72
APPENDICE D.....	74

Indice degli elaborati cartografici allegati alla presente relazione

- *Tav. 01 - Carta geolitologico-strutturale; Pianta*
- *Tav. 02 - Carta geolitologico-strutturale; Prospetto frontale*
- *Tav. 03 - Carta degli elementi geomorfologici significativi per la franosità; Pianta*
- *Tav. 04 - Carta degli elementi geomorfologici significativi per la franosità; Prospetto frontale*
- *Tav. 05 - Carta delle tipologie di dissesto attive*
- *Tav. 06 - Carta delle stazioni geomeccaniche e della zonizzazione secondo la Classifica di Romana; Prospetto frontale*
- *Tav. 07 - Carta della suscettività a franare; Prospetto frontale*
- *Tav. 08 - Proposta tipologica sulle possibili opere di intervento; Prospetto frontale*

1. PREMESSA

In seguito all'affidamento da parte dell'Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Sele del *"Progetto di rivisitazione del piano stralcio per il rischio da frana ed il rischio idraulico – P.O.R. Campania 2000-2006 Misura 1.5 Azione D"* all'A.T.S. Strago S.r.l., è stato svolto uno studio di dettaglio che ha riguardato la suscettibilità a franare di un versante in roccia ubicato nel territorio comunale di San Rufo (SA). Ciò in ottemperanza a quanto previsto nella Relazione Tecnico-Methodologica in cui l'ATS si proponeva di definire una metodologia di studio relativa alla suscettibilità all'innescotransito-invasione per frane in formazioni lapidee, sulla base di aree-campione concordate con l'A.d.B..

A tal fine, si sono preliminarmente definiti i principali caratteri geolitologici, strutturali, geomorfologici e geomeccanici dell'area in esame, avvalendosi di appositi rilievi di campagna.

In considerazione del tipo di studio in esame, destinato ad analizzare le condizioni di stabilità di un versante ad alta acclività, e della conseguente impossibilità di rappresentare in maniera esaustiva i dati acquisiti in campagna su basi topografiche convenzionali, i vari tematismi sono stati riportati su prospetti frontali acquisiti con metodologia *laser scanner*.

Nei paragrafi seguenti, per quanto attiene ai geotematismi di base (C. geolitologica, C. geomorfologica, C. inventario dei fenomeni franosi), si fa riferimento alla cartografia prodotta dall'ATS nell'ambito del citato *Progetto di rivisitazione del Piano Stralcio per il rischio da frana ed il rischio idraulico*.

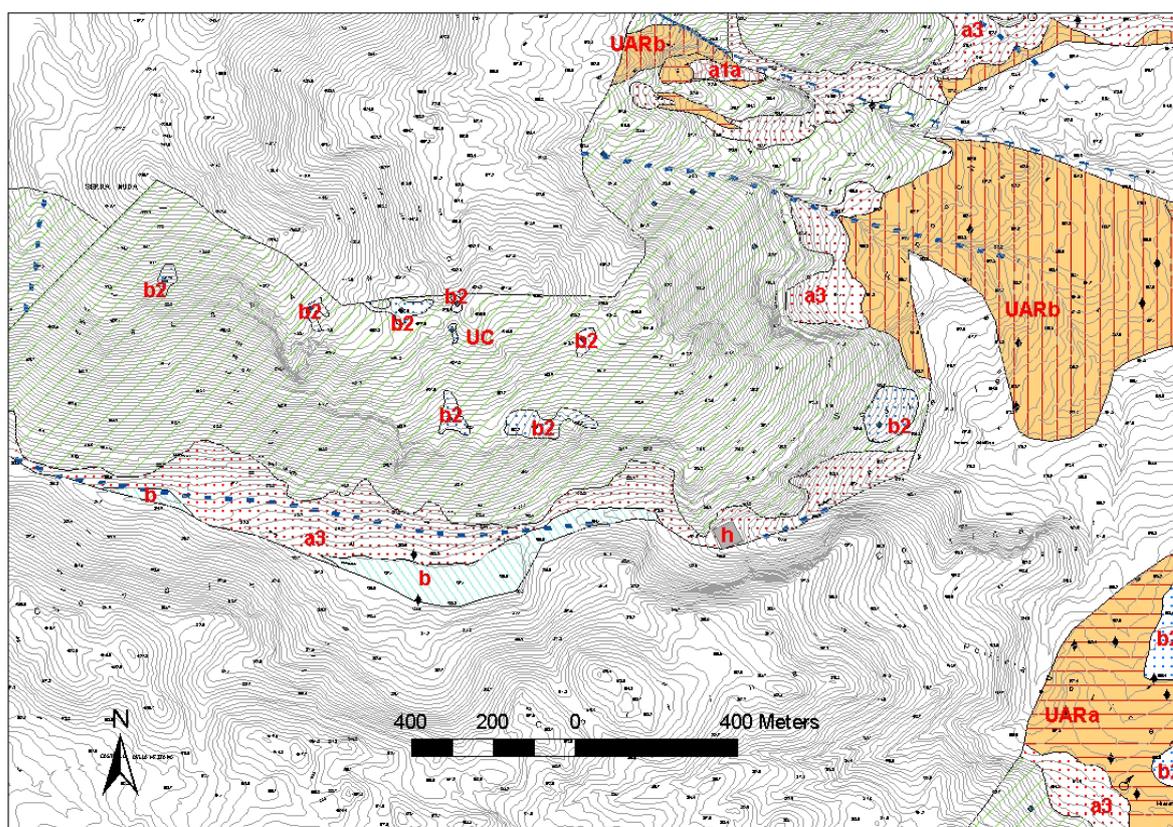
2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA IN ESAME

2.1 Assetto geologico-strutturale

Dal punto di vista geolitologico l'area di interesse si inserisce in un contesto geologico in cui affiorano diversi litotipi di età compresa tra il Giurassico-Miocene (Unità carbonatica dei rilievi montuosi) e l'Olocene (depositi alluvionali dei fondovalle fluviali).

Le rocce affioranti nell'area e costituenti l'immediato sottosuolo sono visibili in Fig. 2.1 in cui sono stati differenziati i seguenti complessi litologici, elencati in ordine dal più recente al più antico:

- *Deposito alluvionale;*
- *Coltre eluvio-colluviale;*
- *Detrito di falda;*
- *Unità Arenacea/Sub Unità Pelitico Arenacea;*
- *Unità Arenacea/Sub Unità Arenaceo Conglomeratica;*
- *Unità Calcarea.*



Legenda: b Deposito Alluvionale (Olocene-Attuale). b2 Coltre eluvio-colluviale (Pleistocene- Attuale). a3 Detrito di falda (Pleistocene-Attuale). UARa Sub Unità Pelitico Arenacea (Miocene medio-sup.). UARb Sub Unità Arenaceo Conglomeratica (Miocene medio-sup.). UC Unità Calcarea (Giurassico p.p.-Miocene Inf.).

Fig. 2.1. Schema geologico dell'area di Serra Nuda.

Deposito alluvionale (b)

Ghiaie e sabbie con elementi carbonatici e flyschoidi, da subangolosi ad arrotondati, eterometrici fino a grossi blocchi. Localmente prevalgono sabbie e limi. Depositi fluviali in alveo e di golena. Depositi di conoide torrentizia attiva e localmente inattiva o quiescente. Spessore fino a 10 m. Età: Olocene – Attuale.

Coltre eluvio-colluviale (b2)

Coltri alteritiche e paleosuoli con fenomeni di pedogenesi ancora in atto; sabbie e limi argillosi bruno - rossastri ed argille nerastre. Presenza di clasti di varia natura e, a luoghi, elementi piroclastici rimaneggiati. Depositi derivanti da processi di alterazione in situ delle successioni affioranti e depositi per processi di accumulo in paleoconche per trasporto meteorico e/o gravitativo lungo i versanti. Spessore fino a 10 m circa. Età: Pleistocene – Attuale.

Detrito di falda (a3)

Depositi clastici carbonatici ed eterometrici e in subordine calcareo-marnosi ed arenacei, a matrice argilloso-limosa bruna o arrossata, talora assente, a luoghi addensati o parzialmente cementati, clinostratificati. Distribuito lungo fasce più o meno omogenee e continue al raccordo dei versanti con i fondovalle. Spessore fino a 30 m. Età: Pleistocene – Attuale.

Sub-Unità Pelitico-arenacea (UARa)

Argille siltose biancastre, giallastre e grigiastre, marne argillose micacee brunastre e grigio-azzurre, arenarie di colore grigio-ferro, avana e, per alterazione, ocracee; litareniti medio-grossolane grigie, avana e brunastre, ricche in frammenti litici di natura sedimentaria e/o cristallina. Ambiente marino. Lo spessore stimato è di alcune centinaia di metri.

Età: Miocene medio - Miocene superiore.

Sub-Unità Arenaceo-conglomeratica (UARb)

Arenarie quarzoso-feldspatiche con minerali femici e subordinatamente con frammenti litici, di colore grigiastro, avana e, per alterazione, giallo-ocra; si presentano massive e/o laminate, a grana media e con scarso grado di selezione dei clasti; paraconglomerati con concentrazioni in nuvole ciottolose, ortoconglomerati disorganizzati eterometrici e clasti pelitici; i ciottoli sono subarrotondati e costituiti in prevalenza da calcareniti, marne calcaree biancastre, rocce granitoidi, quarziti ed areniti; subordinatamente intercalazioni di blocchi carbonatici di spessore metrico. Ambiente marino. Lo spessore stimato è di alcune centinaia di metri.

Età: Miocene medio - Miocene superiore.

Unità Calcarea (UC)

Calcari bianco-grigiastri, calcilutiti da ben stratificate a massive, calcareniti e calciruditi stratificate. Calcareniti fini detritiche (calcari pseudocristallini). La stratificazione, qualora presente, è tabulare, talora ritmica, con giunti di strato localmente stilolitizzati. Presenti fossili come bivalvi, gasteropodi, in livelli discontinui di spessore variabile (2 m - 10 cm) oppure isolati o concentrati in porzioni di strato.

L'ambiente di deposizione di solito varia da lagunare a subtidale ma anche a scarpata. Lo spessore di tale unità può raggiungere i 3000 m.

L'unità *UC* è presente anche come olistoliti all'interno di altre unità (UARa e UARb). Tali litotipi sono diffusi nelle successioni calcaree delle Unità di Piattaforma Carbonatica sud-appenniniche. Età: Giurassico p.p. - Miocene inferiore.

Nel contesto geologico di cui sopra è stato effettuato un rilevamento di dettaglio su una porzione di versante posta all'estremità sud-orientale del rilievo di Serra Nuda (Tav. 01 - *Carta geolitologico-strutturale; Pianta e Tav. 02 - Carta geolitologico-strutturale - prospetto frontale*). Qui affiora, a luoghi, il substrato carbonatico costituito da calcareniti e calciruditi stratificate in banchi e strati con Rudiste. Il substrato, nella fascia pedemontana, è ricoperto da un'estesa copertura di suolo frammisto a materiale detritico, a sua volta costituito da clasti e blocchi calcarei con spessori anche superiori al metro.

Il resto del versante, ed in particolare la fascia compresa tra 950 e 1000 m s.l.m., è ricoperto da materiale prevalentemente detritico con clasti e massi calcarei e subordinatamente da un suolo discontinuo, con spessore sempre inferiore al metro. Dal punto di vista strutturale, una serie di faglie e fratture con grande persistenza ed andamento anti-appenninico disseca l'area.

2.2 Assetto geomorfologico

L'area di studio è ubicata sul versante vallivo in sinistra orografica del Torrente La Marza (affluente in sinistra del F. Tanagro). Tale versante, disposto in direzione grosso modo est-ovest, è parallelo al versante alla base del quale sorge l'abitato di San Rufo e raggiunge una quota massima di circa 1080 m s.l.m. in corrispondenza del rilievo di Serra Nuda (Fig. 2.2).

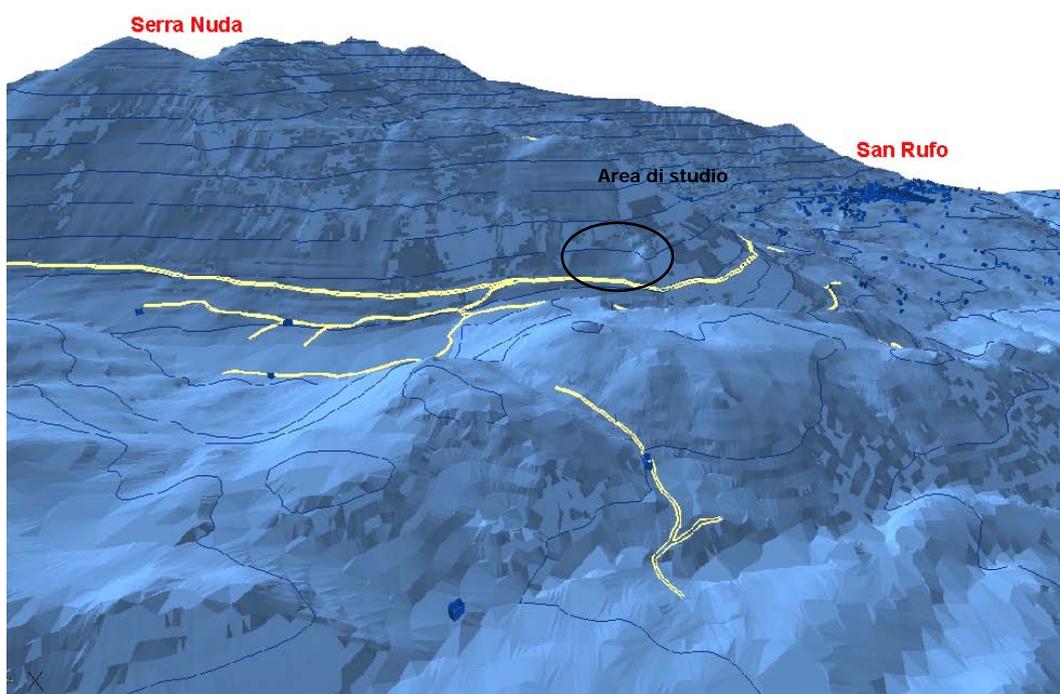


Fig. 2.2. Vista tridimensionale di Serra Nuda.

Da un punto di vista geomorfologico il versante vallivo si presenta regolare e con valori di acclività medi di circa 35°-40°. La regolarità del versante è interrotta localmente da poche e piccole incisioni vallive poco profonde che alimentano in sinistra il torrente principale, da ripiani morfologici disposti per lo più a mezza costa e da cornici litologiche spesso alte alcune decine di metri (Fig. 2.3). La parte sommitale del versante coincide con una superficie a debole pendenza, mentre la fascia

pedemontana è occupata da una falda detritica che si interdigita con il materiale alluvionale del fondovalle fluviale (Fig. 2.3).

Un rilievo geomorfologico di dettaglio, compiuto sulla scorta di aerofoto e sopralluoghi, ha permesso di redigere anche una Carta geomorfologica di dettaglio in scala 1:1.000 (*Tav. 03 - Carta degli elementi geomorfologici significativi per la franosità; Pianta*). L'area indagata presenta una morfologia d'insieme ad emiciclo, limitata da una cornice litologica impostata in calcari che raggiunge un'altezza variabile e comunque superiore alle decine di metri. Su tale porzione di versante sono state differenziate delle concavità morfologiche colmate da depositi di copertura, il cui spessore è di norma maggiore rispetto a quello delle aree circostanti (*hollows*). Il versante, inoltre, è solcato da due impluvi a carattere torrentizio e fondo concavo, che, confluendo, raggiungono la strada che taglia a mezza costa il versante e quindi l'asta fluviale principale. Altri tre piccoli impluvi si riconoscono ad est, dove si perdono nella fascia detritico-colluviale.

Alla base di buona parte delle cornici litologiche è stata rappresentata una fascia detritica costituita in prevalenza da cumuli di frane da crollo indifferenziati; i suddetti cumuli sono stati differenziati con dettaglio maggiore nella Tavola 03. Qui infatti alla base di un torrione calcareo di circa 20 m (Fig. 2.4), che è parte dello spartiacque che limita in sinistra l'area in oggetto, sono state individuate due aree di accumulo di frane da crollo, presumibilmente recenti in quanto non ricoperti da vegetazione. Inoltre sono stati indicati su carta quei blocchi (con volumi stimati per lo più tra 1 e 6 m³), spesso in condizioni di equilibrio precario, in buona parte provenienti dalla parete rocciosa di cui prima.

Tutti gli elementi geomorfologici significativi per la franosità sono stati riportati anche su prospetto frontale (*Tav. 04 - Carta degli elementi geomorfologici significativi per la franosità; Prospetto frontale*). Su tale elaborato è stato possibile indicare con maggiore precisione sia i settori di parete variamente fratturati (in funzione della spaziatura e della persistenza delle discontinuità osservate in campagna), sia le aree di distacco delle frane distinte anche per tipologia. In più sono stati indicati i diedri di roccia instabili, le porzioni di roccia aggettanti (*mensole*) e le aree con blocchi in condizioni di precario equilibrio.

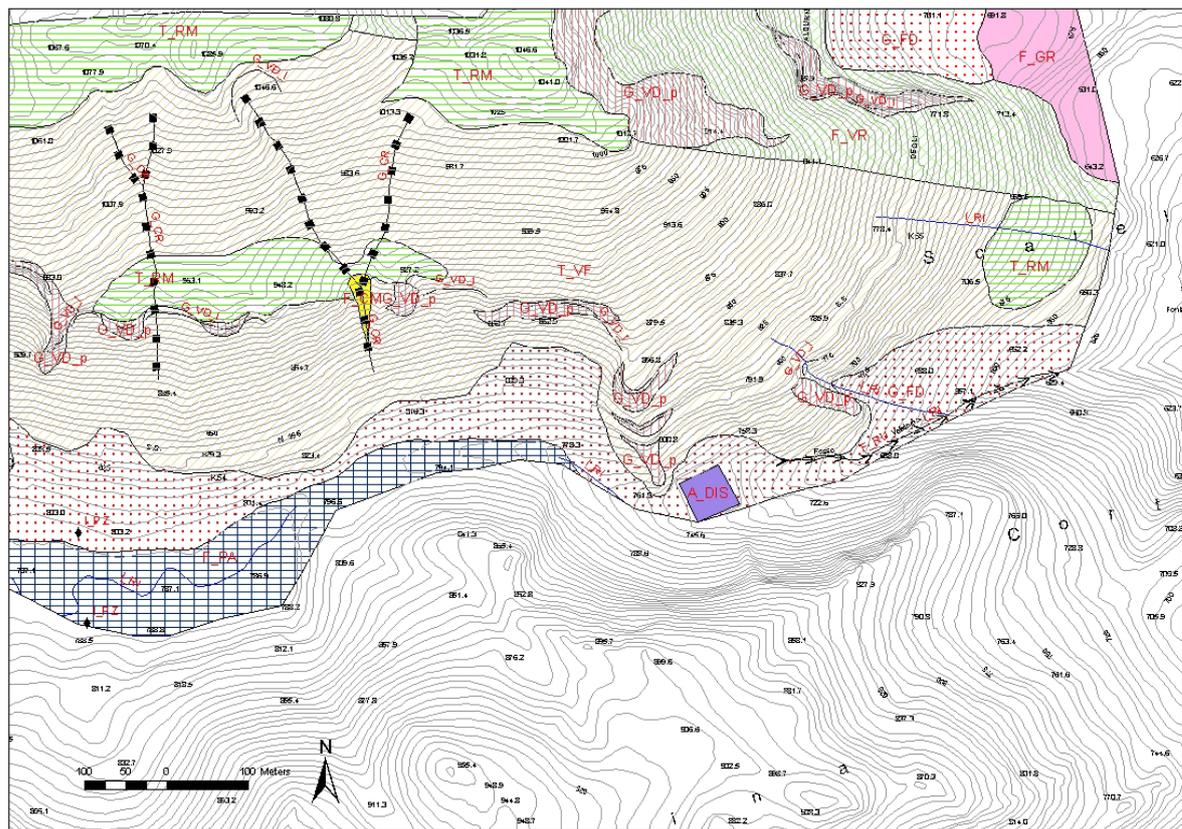


Fig. 2.3. Carta geomorfologica dell'area di Serra Nuda.

2.3 Fenomeni d'instabilità

I processi morfoevolutivi attivi lungo il settore di versante in esame sono controllati dal quadro fessurativo, la cui giacitura, intersecando il versante in esame, favorisce il distacco di blocchi di dimensioni anche dell'ordine dei 5-6 m³.

In particolare, il versante meridionale del rilievo di Serra Nuda è caratterizzato da strati e, talora, bancate a sbalzo che generano la classica morfologia a "tetti" (Fig. 2.4), tipica di molti fronti rocciosi naturali.



Fig. 2.4. Foto panoramica della balza rocciosa. In evidenza, la tipica morfologia "a tetti".

Gli strati a sbalzo possono rompersi per trazione (*tipo 1* di Figg. 2.5 e 2.6) o taglio (*tipo 2* di Figg. 2.5 e 2.7).

Il distacco di *tipo 1* è tipico di strati continui di modesto spessore, che danno luogo a mensole più snelle. La rottura a trazione avviene raramente nel materiale roccioso, mentre, più di frequente, si verifica lungo giunti non persistenti.

Il distacco di *tipo 2* si verifica, invece, in presenza di bancate spesse e mensole più tozze, allorché vi sia una discontinuità sub-parallela al fronte con "ponti" tra le discontinuità di esiguo sviluppo areale.

In alcuni casi, nella situazione di *tipo 1*, la rottura può avvenire anche quando il giunto subverticale sia ubicato a tergo dell'appoggio della mensola (*tipo 3*). In questo caso si verifica un ribaltamento della mensola innescato dalla progressiva rottura dell'appoggio costituito da roccia fittamente stratificata (o da un sottile setto) e dovuto alla concentrazione di sforzi sotto il peso degli strati soprastanti.

Talora si è riscontrato che l'ammasso roccioso è suddiviso da strati di spessore contenuto che conducono ad una stretta interazione tra le varie lastre, al punto che queste non possono essere più considerate indipendenti (meccanismo di *tipo 4* di Figg. 2.5 e 2.8).

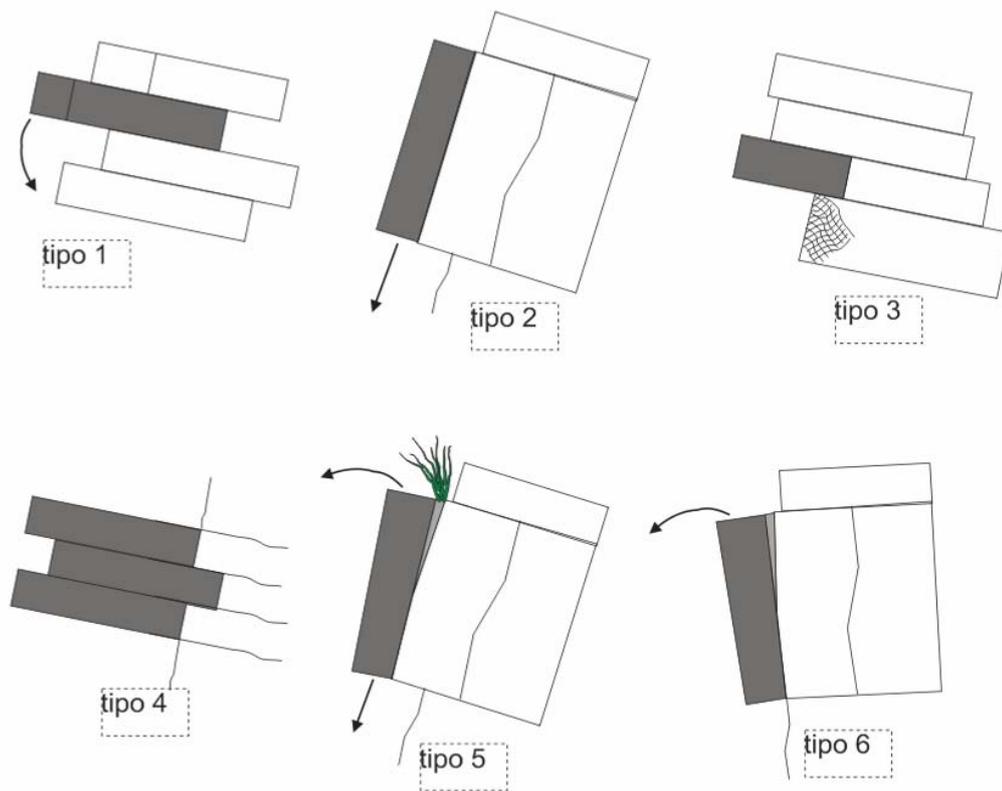


Fig. 2.5. Schemi dei meccanismi di instabilità osservati lungo le balze rocciose.



Fig. 2.6. Instabilità di tipo 1: mensola snella a sbalzo.



Fig. 2.7. Instabilità di tipo 2: mensola tozza a sbalzo.



Fig. 2.8. Instabilità di tipo 4 (ammasso roccioso suddiviso da strati che creano mensole a sbalzo).

Frequentemente, nelle bancate più potenti interessate da giunti sub-paralleli ravvicinati si verificano le condizioni di ribaltamento o scivolamento. Il ribaltamento è determinato dalla spinta nella frattura a tergo, esercitata da radici, acqua o ghiaccio e dalla riduzione dell'appoggio al piede per rotture localizzate nel materiale roccioso (meccanismo di *tipo 5*; Figg. 2.9, 2.10, 2.11). In alcuni casi la persistenza della frattura a tergo non è tale da isolare completamente il blocco, che rimane saldato all'ammasso roccioso circostante.



Fig. 2.9. Instabilità di tipo 5 (spinta nella frattura a tergo e riduzione dell'appoggio al piede).



Fig. 2.10. Instabilità di tipo 5 (spinta nella frattura a tergo).

Nell'ammasso roccioso, a causa di discontinuità sub-verticali e parallele al fronte, si innescano fenomeni di instabilità di *tipo 6*, cioè per ribaltamento della massa rocciosa che, isolata lateralmente e quindi spinta in avanti dai carichi a tergo e dal suo stesso peso, tende a ribaltare (meccanismo di *tipo 6*; Fig. 2.11).



Fig. 2.11. Area con diffusi fenomeni di instabilità di tipo 5 e 6 (spinta nella frattura a tergo e riduzione dell'appoggio al piede - ribaltamento).

Lungo le fasce sommitali di alcune balze rocciose l'ammasso presenta discontinuità caratterizzate da ampie aperture, il che determina un notevole allentamento dell'ammasso. Tale situazione favorisce il distacco di blocchi di dimensioni talora rilevanti (Figg. 2.12 e 2.13).



Fig. 2.12. Fenomeni di instabilità lungo la fascia sommitale del versante. In primo piano, numerosi blocchi franati.



Fig. 2.13. Blocchi isolati lungo il versante.

3. INDAGINI GEOSTRUTTURALI E GEOMECCANICHE

3.1 Metodologia d'indagine

Al fine di definire il quadro fessurativo caratterizzante gli ammassi rocciosi affioranti lungo i versanti in esame (Fig. 3.1), sono state eseguite delle misure relative alle principali caratteristiche delle discontinuità. È stato quindi realizzato un rilievo geostrutturale e geomeccanico alla mesoscala secondo i suggerimenti metodologici proposti dall'I.S.R.M. (1978), che ha consentito la definizione del quadro fessurativo dell'ammasso, la stima del volume dei blocchi potenzialmente instabili ed i possibili cinematismi di instabilità, nonché la classificazione dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1973, 1974 e successive modifiche; Romana, 1985, 1988, 1991).

Come detto in precedenza, le pareti rocciose si impostano su rocce calcarenitiche e calciruditiche, disposte in banchi e strati, variamente fratturate e carsificate, localmente ricoperte da uno strato di pochi decimetri di suolo. Lungo tali pareti sono stati realizzati 4 stendimenti (Fig. 3.2) di lunghezza variabile in funzione del *pattern* fessurativo e della relativa spaziatura, ubicati uno sulla prima parete (Fig. 3.1 B) e tre nel secondo sito (Fig. 3.1 A).

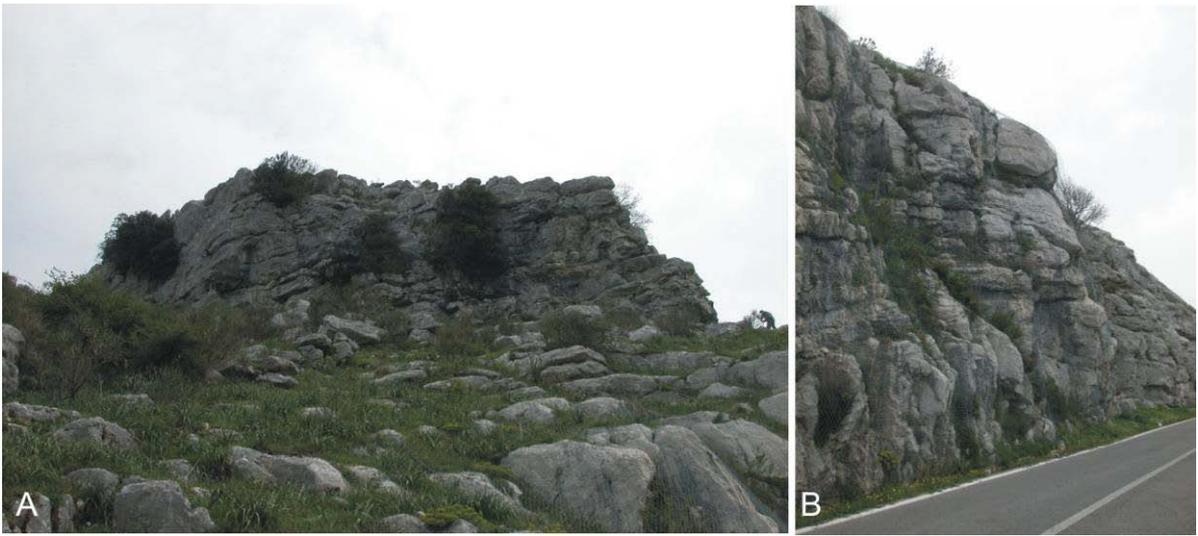


Fig. 3.1. Pareti lungo le quali sono stati effettuati i rilievi geostrukturali e geomeccanici. (A) Parete meridionale del duomo calcareo; (B) Parete posta a ridosso della SP 166.

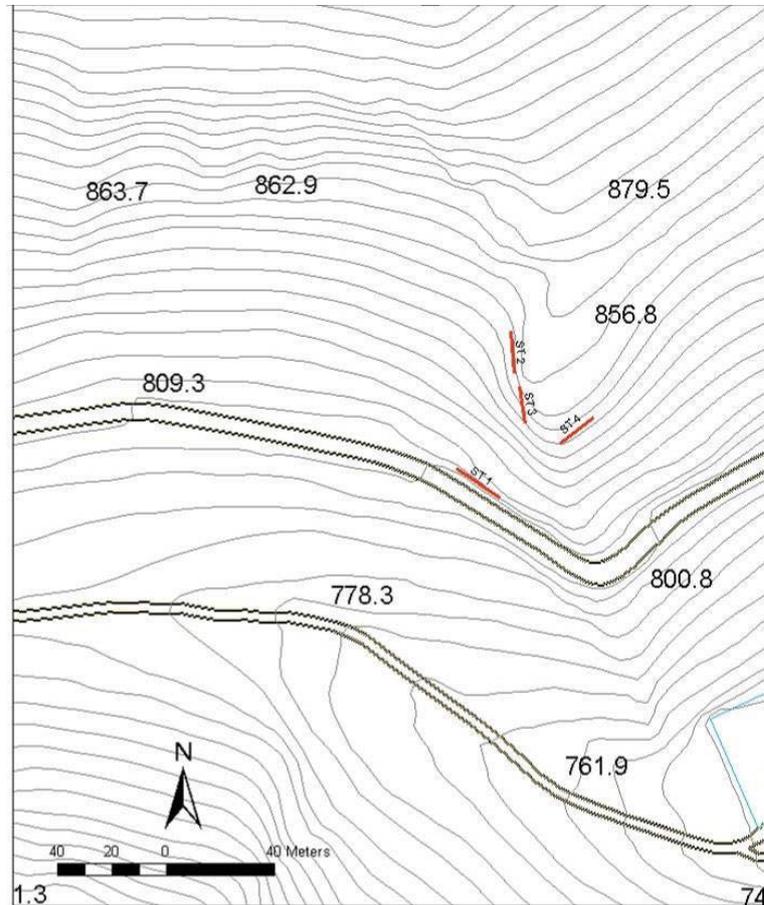


Fig. 3.2. Ubicazione delle stazioni di misura.

Per ogni stazione sono state eseguite misure relative a:

- Giacitura del fronte: ricavata con l'uso della bussola di *Clar* ed espressa attraverso i valori di immersione ed inclinazione.

- Giacitura delle superfici dei giunti: immersione e inclinazione delle discontinuità, parametri necessari ad identificare la presenza di eventuali famiglie di discontinuità e le loro interazioni nel formare blocchi potenzialmente instabili.
- Tipo di discontinuità: distinzione tra strati, *joint* e faglie.
- Distanza progressiva: distanza in metri del giunto rilevato dall'inizio dello stendimento; informazione utile per la determinazione della spaziatura delle discontinuità e, quindi, delle dimensioni dei blocchi.
- Lunghezza dei giunti: lunghezza della singola discontinuità, espressa in m.
- Persistenza dei giunti: codice letterale che esprime le terminazioni degli estremi dei giunti (su roccia, su discontinuità o non visibile).
- Scabrezza: misurata con il *pettine di Barton*, consente di ricavare il tipo medio del profilo della superficie del giunto da confrontare con profili *standard* (Fig. 3.3), al fine di ricavare l'indice di rugosità *JRC (Joint Roughness Coefficient)*.
- Apertura: distanza tra le pareti della discontinuità espressa in mm.
- Forma: piana, ondulata o segmentata, in funzione della morfologia della traccia della discontinuità.
- Riempimento: tipo di riempimento (assente, coesivo o incoerente) delle discontinuità aperte.
- Acqua: eventuale presenza d'acqua nei giunti, con quattro possibilità (asciutto, umido, stillicidio, venute).
- Compattezza: resistenza alla compressione uniassiale delle pareti della discontinuità misurata eseguendo dieci prove con il *martello di Schmidt*, strumento che consente di calcolare il *JCS (Joint Compressive Strength)*.

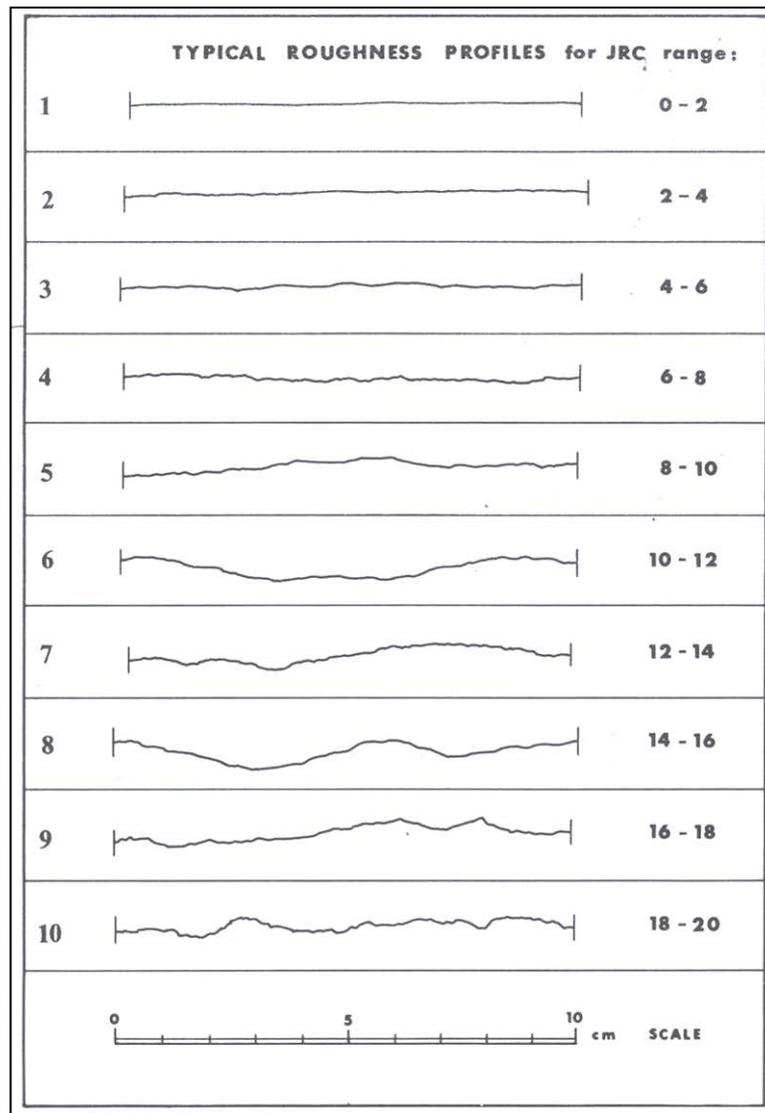


Fig. 3.3. Profili di rugosità (ISRM, 1978).

In *Appendice A* sono riportate, per ciascuno stendimento, tutte le informazioni relative alle singole discontinuità misurate e, per una visione sinottica delle loro principali caratteristiche, i relativi elaborati grafici.

Per ciascuna stazione, inoltre, i dati di orientazione delle discontinuità sono stati raccolti in proiezione equiareale polare e poi raggruppati per famiglie (*clustering*). Successivamente, le singole famiglie sono state rappresentate in proiezione equatoriale di *Lambert-Schmidt* insieme con l'orientazione media dei fronti; ciò al fine di tracciare, per ciascuna discontinuità principale, la relativa ciclografica (vedi *Appendice B*).

3.2 Sintesi dei risultati

Come detto in precedenza sono state realizzate 4 stazioni di misura. Le misure eseguite hanno evidenziato la presenza, oltre alla stratificazione, di 3-4 famiglie di discontinuità principali. I dati relativi alle singole stazioni sono riportate nella Tabella 3.1.

STAZIONE	GIACITURA FRONTE		Lunghezza stendimento (m)	Numero discontinuità	Famiglie	GIACITURA MEDIA	
	IMM	INCL				IMM.	INCL.
1	207°	76°	8	45	K1	081°	81°
					K2	289°	89°
					K3	169°	84°
					K4	206°	76°
					S	358°	10°
2	208°	78°	4,5	34	K1	061°	88°
					K2	277°	84°
					K3	346°	76°
					K4	214°	89°
					S	037°	11°
3	260°	72°	6	30	K2	292°	83°
					K3	168°	89°
					K4	021°	87°
					S	010°	7°
4	165°	80°	3,9	23	K1	252°	90°
					K2	110°	87°
					K3	351°	90°
					K4	021°	88°
					S	012°	15°

Tabella 3.1. Giacitura delle famiglie di discontinuità riconosciute nelle stazioni di misura.

La giacitura media delle cinque famiglie riscontrate nelle varie stazioni è riportata nella Tabella 3.2.

FAMIGLIA	ORIENTAZIONE MEDIA	
	IMMERSIONE	INCLINAZIONE
K1	076°	86°
K2	285°	89°
K3	348°	89°
K4	206°	88°
S	017°	9°

Tabella 3.2. Giacitura delle principali famiglie di discontinuità.

Le aperture delle discontinuità sono risultate prevalentemente inferiori ai 10 mm, con valori che hanno raggiunto un massimo di 8 cm. Il riempimento è risultato generalmente incoerente e, solo occasionalmente, costituito da cemento calcitico o assente. I profili di rugosità rilevati ricadono, per lo più, nelle tipologie cinque e sei (Fig. 3.3) a cui corrispondono valori di *JRC* compresi tra 8 e 12, mentre il numero di rimbalzi forniti dal martello di Schmidt sono risultati compresi tra 14 e 52.

3.3 Analisi dei cinematismi attesi

Al fine di individuare le tipologie di cinematismi potenzialmente attivabili lungo i fronti rocciosi sono stati eseguiti i principali *test* in uso; ovvero:

- Test di Goodman
- Test di Markland
- Test di Matheson.

I *test* (*Appendice C*), eseguiti su tutte le stazioni imponendo un valore di angolo di attrito delle discontinuità pari a 40° (Budetta & Calcaterra, 1991), hanno evidenziato come alcuni settori delle balze rocciose presentino situazioni critiche a causa di possibili instabilità di blocchi mobilizzabili per scivolamenti planari e ribaltamenti.

La caratterizzazione strutturale dell'ammasso roccioso, ed in particolare la spaziatura "*S*", ha consentito di definire le dimensioni medie dei volumi rocciosi isolati dall'intersezione delle discontinuità misurate. Il volume unitario, come noto, è un parametro indispensabile per le analisi di caduta dei blocchi (§ 5) e soprattutto per la stima dell'altezza di rimbalzo e delle energie prodotte nei vari punti della traiettoria.

La stima del volume roccioso è stata operata avvalendosi della formula di Hudson e Priest (1979), per gli ammassi rocciosi caratterizzati dalla presenza di un numero di discontinuità pari a tre, e della formula di Palmstrøm (1995, 2000) per quelli con famiglie di discontinuità diverse da tre.

Le formule su menzionate hanno consentito di individuare come, nella maggior parte delle stazioni, i volumi instabili siano dell'ordine dei decimetrici cubici e solo occasionalmente raggiungano valori di 1.0÷1.5 m³ (Tab. 3.3).

STAZIONE	VOLUMI SECONDO PALMSTRØM			VRU SECONDO HUDSON & PRIEST (m ³)
	METODO DELLA MASSIMA LUNGHEZZA ASSIMILABILE A 4 m (sovrastima)	METODO DELLE SPAZIATURE MASSIMA E MINIMA	METODO DELLE SPAZIATURE MASSIMA, MEDIA E MINIMA	
1	0.1	0.1	0.1	0.3
2	0.1	0.1	0.1	0.4
3	0.1	0.1	0.1	0.1
4	1	0.4	0.7	1.5

Tab. 3.3. Stima dei volumi individuati dall'intersezione delle discontinuità per le diverse stazioni.

In Figura 3.4 ed in Tabella 3.4 si sintetizzano i cinematismi individuati per ciascuna stazione.

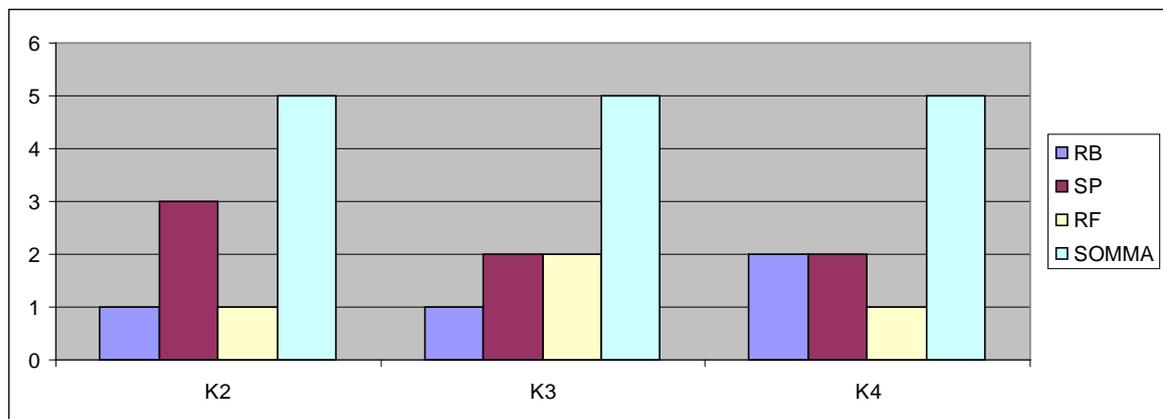


Fig. 3.4. Cinematismi attesi, suddivisi per famiglia di discontinuità (RB = ribaltamento a blocchi, RF = ribaltamento flessurale, SP = scivolamento planare, SOMMA = totale dei cinematismi attesi per ciascuna famiglia di discontinuità).

STAZIONE	Fronte	Famiglie di discontinuità				
		K1	K2	K3	K4	S
1	207/76			SP	SP RB	
2	208/78		SP	RF	SP RF RB	
3	260/72		SP RF RB			
4	165/80		SP	SP RF RB	RF	

Tab. 3.4. Cinematismi attesi e famiglie interessate dalle potenziali instabilità (SP = Scivolamento Planare; RB = Ribaltamento a Blocchi; RF = Ribaltamento Flessurale).

In definitiva, elaborando i dati di cui sopra, emerge che lungo i fronti esaminati sono potenzialmente instabili blocchi rocciosi con volumetrie prevalenti dell'ordine dei decimetri cubici, che raggiungono massimi ("blocchi di progetto") di circa 1-1.5 m³. Tale valore è in apparente contrasto con quanto osservato direttamente sui fronti rocciosi e sulla fascia pedemontana posta immediatamente a ridosso del versante, ove sono stati riconosciuti blocchi di volume massimo dell'ordine dei 2-3 m³ (con occasionali valori di picco pari a 5-6 m³).

Le motivazioni di tali apparenti incongruenze sono da ricercare nelle caratteristiche delle discontinuità, ed in particolare:

- nella presenza di diffuse discontinuità serrate e poco estese in lunghezza che, pur favorendo l'individuazione di modesti volumi rocciosi, consente agli stessi di essere fortemente interconnessi fra di loro e mutuamente vincolati.
- nella presenza di un gran numero di discontinuità con apertura da "aperta" a "molto larga" (46%; vedi Appendice A) che rappresentano dei potenziali piani di distacco di blocchi rocciosi costituiti da più "blocchi singoli".

A conferma di tale ipotesi si richiamano i rilievi eseguiti, che hanno evidenziato la presenza sia di blocchi rocciosi in precarie condizioni di stabilità lungo i fronti, sia di blocchi franati sul settore di versante posto a valle delle balze rocciose. In entrambi i casi i blocchi sono costituiti da un insieme di "blocchi singoli" separati da discontinuità serrate ed interconnesse tra loro. Pertanto, alcuni dei blocchi franati devono essere considerati dei megablocchi costituiti da più "blocchi singoli" distaccatisi dal retrostante versante o per eventi sismici e/o per la presenza di acqua in discontinuità sicuramente non serrate.

4. CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Le classificazioni degli ammassi rocciosi mirano a definire un indice di qualità sulla base dell'analisi di diversi parametri. Tra i metodi empirici sono particolarmente conosciuti ed applicati il *Rock Mass Rating* (RMR) di Beniaowski (1973 e successive modifiche) e lo *Slope Mass Rating* (SMR) di Romana (1985 e successive modifiche). In particolare, quest'ultimo è derivato dal primo (considerato a sua volta troppo conservativo nel caso di applicazione a versanti) ed applica al valore di RMR di base

alcuni fattori di aggiustamento, basati sull'orientamento relativo fra discontinuità e fronte del versante e sul metodo di scavo del fronte.

In questa sede si sono pertanto preliminarmente calcolati i valori dell'RMR di base, per poi passare alla stima dell'SMR, a sua volta utilizzato per la classificazione degli ammassi (cfr. Tav. 06).

4.1 Rock Mass Rating

La classifica degli ammassi rocciosi *Rock Mass Rating* (RMR), introdotta da Bieniawski nel 1973 e perfezionata in diversi lavori successivi, considera cinque parametri elementari:

- 1) Resistenza a compressione uniassiale del materiale intatto;
- 2) Percentuale di carotaggio modificata (RQD);
- 3) Spaziatura delle discontinuità;
- 4) Condizioni delle discontinuità;
- 5) Presenza d'acqua.

Ad ognuno dei parametri è assegnato un punteggio, la cui somma definisce l'RMR di base (Tab. 4.1).

The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)*

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter		Ranges of Values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength Index (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
		Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered wall	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10-25	25-125	>125		
		Ratio $\frac{\text{Joint water pressure}}{\text{Major principal stress}}$	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing			
		Rating	15	10	7	4	0		

B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS						
Strike and Dip Orientations of Discontinuities		Very Favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very Unfavorable
Rating	Tunnels and mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS					
Rating	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Class no.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock *	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

Tab. 4.1. Schema classificativo RMR tratto da Bieniawski (1979).

A questo valore si somma algebricamente il punteggio relativo ad un sesto parametro, la giacitura delle discontinuità, che è valutata in modo differente a seconda del problema ingegneristico in esame (gallerie, fondazioni o pendii). Si ottiene così il valore finale di RMR, compreso tra 0 e 100, da considerare come indicatore della qualità dell'ammasso roccioso. Nel nostro caso si è calcolato, come già accennato, solo l'RMR di base che è poi servito alla valutazione dell'SMR, considerato più adatto per la classificazione di ammassi rocciosi su versante (cfr. Budetta et al., 1994).

4.1.1 Determinazione della resistenza a compressione uniassiale

La resistenza a compressione delle pareti delle discontinuità è stata valutata con la prova sclerometrica, utilizzando il "martello di Schmidt". Le prove sono state eseguite a gruppi di dieci e nell'elaborazione le 5 letture più basse di ogni gruppo sono state scartate, calcolando il valore medio (\bar{r}) delle 5 letture più alte. Il valore di resistenza a

compressione è stato ricavato tramite il grafico di correlazione (Fig. 4.1) in cui sono rappresentate diverse rette, ad ognuna delle quali corrisponde un valore del peso dell'unità di volume γ mentre sull'asse delle ascisse è riportato il valore medio r .

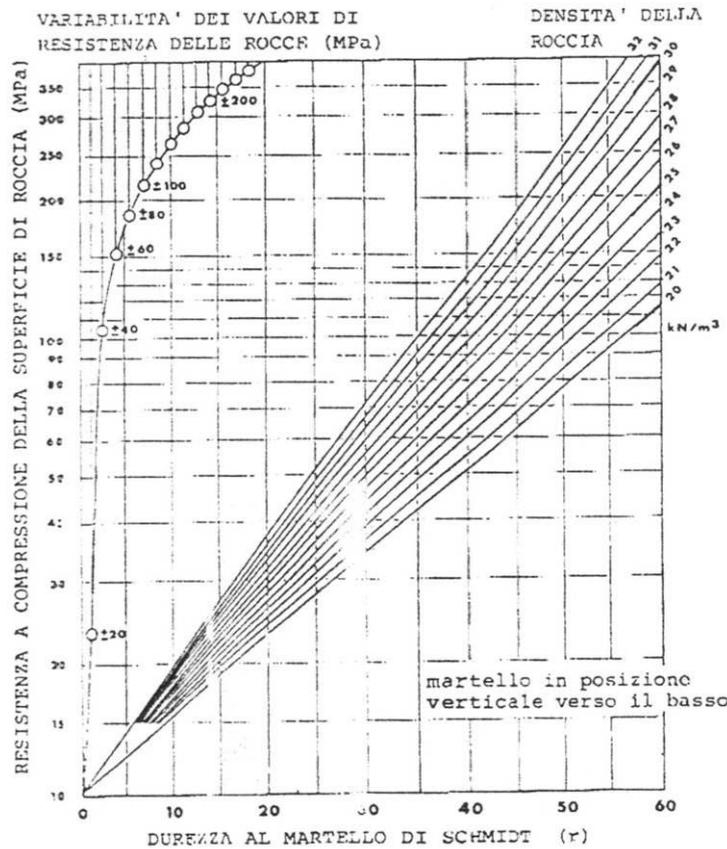


Fig. 4.1. Grafico di correlazione per il calcolo della resistenza a compressione uniaassiale.

Adottando un valore della densità della roccia compreso tra 2,5 e 2,7 t/m³ è stata determinata la resistenza a compressione delle famiglie di discontinuità presenti nei punti in cui è stato effettuato lo stendimento, dopo aver corretto il valore medio di (r) nel caso in cui lo sclerometro non fosse orientato dall'alto verso il basso (Tab. 4.2). Alla fine si sono ottenuti dei valori di resistenza a compressione compresi tra 37 e 50 MPa che sono stati, poi, adottati per la determinazione dell'indice di RMR.

N°	Stendimento	R	corr	R corr	j min (KN/m ³)	j max (KN/m ³)	resistenza min (MPa)	resistenza max (MPa)	valore medio (MPa)
8	St1	31,4	-3,0	34,4177	25	27	59	67	63
18		40	-2,7	42,7167	25	27	89	106	97
21		25,6	-3,2	28,8207	25	27	44	50	47
25		40,2	-2,7	42,9097	25	27	90	107	98
1	St2	46,8	-2,4	49,16	25	27	123	151	137
2		39,4	-2,7	42,13	25	27	86	103	95
1	St3	41	-2,7	43,66	25	27	93	112	102

2		35,4	-2,9	38,284	25	27	71	83	77
1	St4	39,2	-2,7	41,9027	25	27	85	101	93

Tab. 4.2. Dati relativi alle misure sclerometriche.

4.1.2 RQD

L'RQD (*Rock Quality Designation*) è stato calcolato inizialmente sulla base della formulazione suggerita da Priest e Hudson (1976) secondo cui:

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

dove n = numero medio di discontinuità per metro.

Il valore ottenuto è stato successivamente confrontato con quello dedotto dalla formula proposta dall'ISRM (1978) ovvero:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

dove J_v è il numero di giunti per metro cubo di roccia ed è dato dalla relazione:

$$J_v = \sum(1/S_i)$$

dove S_i è il valore della spaziatura (m) per ciascuna delle famiglie individuate.

I risultati sono riportati in Tabella 4.3.

ST1	Priest & Hudson (1976)	n = 5,5	RQD = 89%
	ISRM (1978)	$J_v = 8$	RQD = 89%
ST2	Priest & Hudson (1976)	n = 7,83	RQD = 83%
	ISRM (1978)	$J_v = 7$	RQD = 91%
ST3	Priest & Hudson (1976)	n = 4,83	RQD = 91%
	ISRM (1978)	$J_v = 5$	RQD = 98%
ST4	Priest & Hudson (1976)	n = 5,64	RQD = 89%
	ISRM (1978)	$J_v = 7$	RQD = 93%

Tab. 4.3. Valori di RQD calcolati secondo Priest & Hudson (1976) ed ISRM (1978).

Sulla base dei valori di RQD così calcolati, l'ammasso roccioso può essere definito da ottimo (stendimenti St4 e St3) a buono (stendimenti St1 e St2) sulla base della classificazione di Deere (1963). Infine il valore dell'indice J_v ci dà un'indicazione sulla dimensione dei blocchi che possono essere considerati prevalentemente medi (Palmstrøm, 1995).

4.1.3 Spaziatura delle discontinuità

I valori di spaziatura, misurati in via cautelativi come distanza tra due discontinuità successive, sono stati elaborati statisticamente, al fine di determinare il valore modale tramite istogrammi. I dati sono stati divisi in classi scelte attraverso la relazione:

$$K = 1 + 3,3 \log N$$

dove N è il numero di dati.

Per la spaziatura sono state prese in considerazione anche le classi suggerite dall'ISRM (1978). Il risultato ottenuto (Fig. 4.2) mostra valori di spaziatura prevalenti compresi tra 1 e i 18 cm (da prossime a vicine).

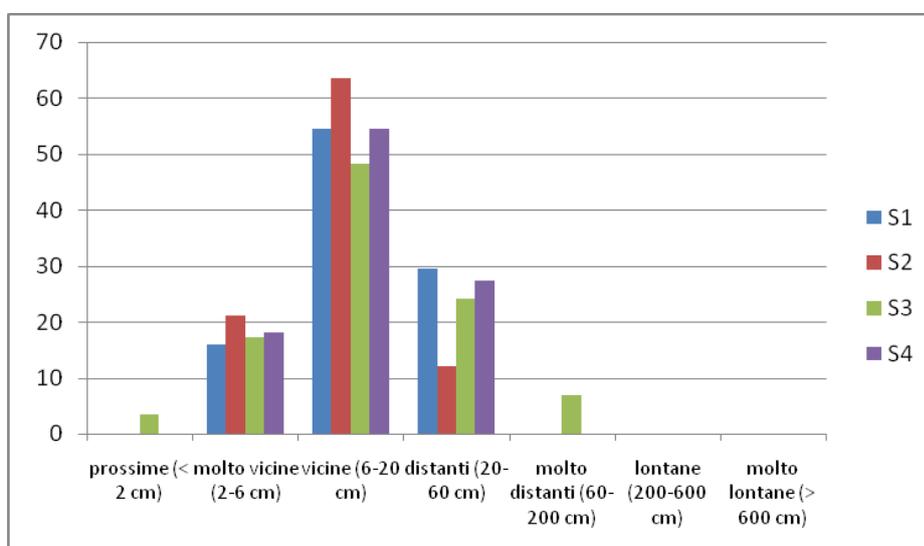


Fig. 4.2. Distribuzione delle spaziature secondo le classi ISRM (1978).
S1 = Stendimento 1; S2 = Stendimento 2; S3 = Stendimento 3; S4 = Stendimento 4.

4.1.4 Condizioni delle discontinuità

Le condizioni delle discontinuità, secondo quanto suggerito da Bieniawski (1989), si basano sulla determinazione di 5 fattori a cui si assegnano determinati indici che poi sommati algebricamente danno il valore di R4 (Tab. 4.4).

Guidelines for Classification of Discontinuity Conditions*

Parameter	Ratings				
Discontinuity length (persistence/continuity)	<1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	>20 m 0
Separation (aperture)	None 6	<0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	>5 mm 0
Roughness	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0
Infilling (gouge)	None 6	<5 mm 4	Hard filling >5 mm 2	Soft filling <5 mm 2	>5 mm 0
Weathering	Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Highly weathered 1	Decomposed 0

*Note: Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, it is irrelevant what the roughness may be, since its effect will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases, use Table 1 directly.

Tab. 4.4. Schema di classificazione delle condizioni delle discontinuità (Bieniawski, 1989).

Persistenza

La persistenza è definita come il rapporto tra l'estensione reale della superficie di discontinuità e l'area complessiva sulla quale la discontinuità si sviluppa. In pratica, data la difficoltà di valutare l'estensione della discontinuità all'interno dell'ammasso roccioso, essa è stata quantificata misurando le lunghezze delle tracce di discontinuità osservate sulla superficie esposta. E' stato specificato, inoltre, il tipo di discontinuità nonché la loro terminazione (in roccia o contro altre discontinuità).

Questo ha consentito di calcolare l'indice di terminazione Tr (Tab. 4.5) tramite la relazione:

$$Tr = (100NR) / (NR + NX + NJ)$$

dove NR , NX e NJ sono il numero totale di discontinuità la cui semitraccia termina rispettivamente in roccia, contro un'altra discontinuità o non è visibile.

	Sinistra	Destra
Indice di terminazione Tr (St1)	2	13
Indice di terminazione Tr (St2)	13	27
Indice di terminazione Tr (St3)	0	7
Indice di terminazione Tr (St4)	4	5

Tab. 4.5. Indici di terminazioni delle discontinuità.

Un valore elevato di Tr indica che buona parte delle discontinuità termina in roccia, cioè che l'ammasso contiene ponti di roccia intatta piuttosto che blocchi ben sviluppati e distinti. Al contrario, un basso valore dell'indice indica che l'ammasso roccioso è meno resistente.

Per quanto concerne la persistenza, la media, la moda e la mediana dei valori misurati ricadono nella classe "molto bassa" secondo lo schema ISRM (1978 - Fig. 4.3).

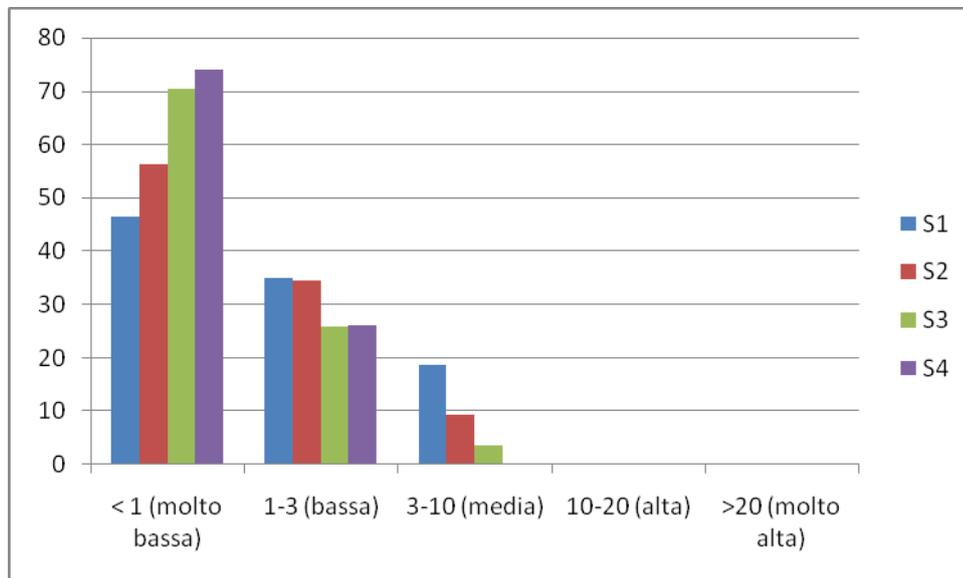


Fig. 4.3. Distribuzione dei valori di persistenza secondo la classificazione ISRM (1978). S1=Stendimento 1; S2=Stendimento 2; S3=Stendimento 3; S4=Stendimento 4.

Apertura

L'apertura, come detto in precedenza, è la distanza perpendicolare che separa le pareti di una discontinuità, distanza che è stata stimata tramite un calibro. Anche in questo caso è stata fatta un'analisi statistica dei dati raccolti, *in primis* per ogni singola famiglia di discontinuità e poi per ciascuna stazione di misura. Poiché si sono misurati valori di apertura molto variabili, sono stati indicati i valori minimi (min) e massimi (max) per ogni stendimento (ST1, ST2, ST3 e ST4). Il risultato finale ottenuto è stato successivamente correlato alle classi suggerite dall'ISRM (1978), che mettono in evidenza come le fratture presentino aperture moderatamente larghe (2,5-10 mm) per tutti gli stendimenti eccezion fatta per lo stendimento ST1, in cui risultano molto strette (<0,1 mm) (Fig. 4.4).

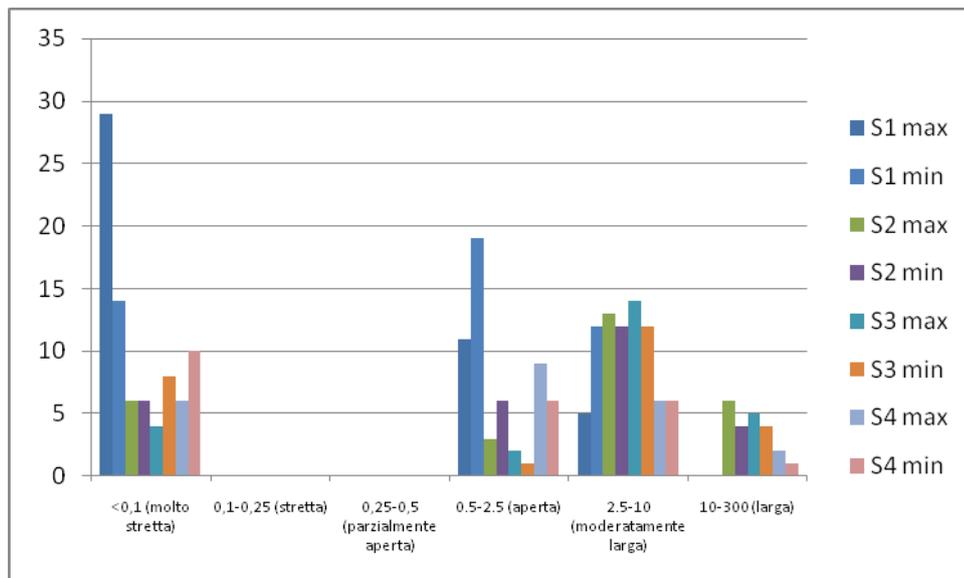


Fig. 4.4. Istogramma delle aperture delle discontinuità.
S1 = Stendimento 1; S2 = Stendimento 2; S3 = Stendimento 3; S4 = Stendimento 4.

Scabrezza

La scabrezza è la rugosità delle superfici affacciate di una discontinuità e la ondulazione rispetto al piano medio delle stesse.

In particolare, è possibile confrontare il valore di JRC relativo ad ogni profilo con una definizione della scabrezza da cui risulta che la maggior parte delle discontinuità hanno scabrezza da debolmente rugosa a rugosa.

Riempimento

Il riempimento indica il tipo di materiale (per esempio: calcite, argilla, limo, breccia, ecc.) che separa i lembi adiacenti delle discontinuità. Esso è stato differenziato nel modo seguente:

A = riempimento assente; S = materiale incoerente; CA = calcite; CC = materiale coesivo compatto; SC = materiale coesivo soffice.

Anche in questo caso si è considerato come risultato finale il valore modale delle discontinuità. Con riferimento ai singoli stendimenti, il materiale è risultato incoerente (ST1, ST2 e ST3) e assente (ST4).

Alterazione

Si è considerato indicativo per la caratterizzazione di questo parametro il rapporto tra la resistenza a compressione monoassiale misurata lungo la discontinuità e quella misurata su un campione della stessa roccia integro, non alterato.

L'indice di conseguenza assegnato è pari a 2 (da moderatamente alterato a molto alterato).

4.1.5 Condizioni idrauliche

In considerazione di quanto emerso dai rilievi effettuati, è stato considerato per le condizioni idrauliche un indice pari a 15, corrispondente alla roccia asciutta.

4.1.6 RMR di base

Ad ognuno dei parametri sopra esposti è stato assegnato un indice in base alla Tab. 4.1. La somma dei cinque indici ha consentito di calcolare il valore del RMR di base che varia secondo le Tabelle 4.6 e 4.7 in un *range* compreso tra un valore minimo ed un massimo scaturito dalla variabilità di alcuni indici quali: la resistenza a compressione uniassiale, l'RQD, la persistenza, l'apertura e il tipo di riempimento.

PARAMETRI	Rating per stendimento							
	S1min	S1max	S2min	S2max	S3min	S3max	S4max	S4min
R1) RESISTENZA A COMPRESSIONE (MPa)	7	7	6,6	12	7	10	7	7
R2) RQD (%)	17	17	17	20	20	20	17	20
R3) SPAZIATURA DISCONTINUITA' (mm)	8	8	8	8	8	8	8	8
R4) CONDIZIONI DISCONTINUITA'	16	18	12	11	12	11	16	11
R5) CONDIZIONI IDRAULICHE	15	15	15	15	15	15	15	15
RMR BASE	63	65	58,6	66	62	64	63	61

Tab. 4.6. RMR di base relativo ai singoli stendimenti.

CONDIZIONI DISCONTINUITA'	Rating per stendimento							
	S1min	S1max	S2max	S2min	S3max	S3min	S4max	S4min
PERSISTENZA (m)	4	6	4	6	4	6	4	6
APERTURA (mm)	5	5	1	0	1	0	5	0
SCABREZZA (JRC)	3	3	3	3	3	3	3	3
RIEMPIMENTO	2	2	2	0	2	0	2	0
ALTERAZIONE	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Rating totale</i>	16	18	12	11	12	11	16	11

Tab. 4.7. Punteggio assegnato ai singoli parametri che concorrono a definire le condizioni delle discontinuità

4.2 Slope Mass Rating

L'applicazione del metodo RMR alla valutazione della stabilità dei pendii in roccia è alquanto problematica, in considerazione del notevole peso attribuito al fattore "giacitura delle discontinuità" (fino a -60 punti rispetto all'RMR di base). Romana nel 1985 ha introdotto un nuovo sistema di classificazione per gli ammassi rocciosi caratterizzanti un pendio o un fronte di scavo che, partendo dall'RMR di base (senza quindi apportare alcuna correzione per le discontinuità), consente di definire un indice SMR (*Slope Mass Rating*) così ottenuto:

$$SMR = RMR_{BASE} + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

dove:

- ✓ **F1:** Tale fattore riflette il parallelismo tra la direzione delle discontinuità e quella media del pendio. Il suo valore varia tra 1 (nel caso in cui le due direzioni siano quasi esattamente parallele) e 0,15 (nel caso in cui le due direzioni divergano fra loro di un angolo $>30^\circ$ e la probabilità di rottura è molto bassa). F1 si ottiene mediante la seguente relazione:

$$F1 = (1 - \sin A)^2$$

dove A è l'angolo formato dalle due direzioni.

- ✓ **F2:** Nel caso di scorrimento planare, F2 valuta l'influenza dovuta all'inclinazione della discontinuità; è quindi da intendersi come una stima della probabilità di rottura. Tale fattore varia tra 1,00 (per discontinuità con inclinazione $>45^\circ$) e 0,15 (per discontinuità con inclinazione $<20^\circ$). Nel caso di rottura per ribaltamento, il fattore F2 assume sempre il valore di 1,00.

$$F2 = \text{tg}^2 B_j$$

dove B_j = inclinazione rispetto all'orizzontale della discontinuità in esame.

- ✓ **F3:** Tale fattore valuta la relazione esistente tra l'inclinazione della discontinuità (B_j) e quella del pendio (B_s). Nel caso di scorrimento planare, esso tiene conto della differenza fra le due ($B_j - B_s$); nel caso di ribaltamento, della somma ($B_j + B_s$). Si utilizzano i valori che appaiono nella classifica di Bieniawski, con riferimento ai pendii. Quindi F3 varia tra 0 e 60. Il fattore stima la "probabilità" che la discontinuità venga a giorno sul pendio.

✓ **F4**: Tale fattore considera, nel caso di fronti di scavo, il metodo di abbattimento della roccia ed è stato definito numericamente, su basi empiriche, secondo le seguenti considerazioni:

- ❖ i pendii naturali sono più stabili, in quanto hanno raggiunto condizioni di equilibrio in tempi lunghi e talora risultano protetti dalla vegetazione; F4 si assume pari a +15;
- ❖ la tecnica di abbattimento che utilizza il "presplitting" favorisce notevolmente la stabilità del fronte (F4 = +10);
- ❖ la riprofilatura del fronte con sparo delle mine ben eseguito ma senza il "presplitting", migliora, in modo più contenuto, la stabilità (F4 = + 8);
- ❖ l'uso di esplosivi normali, inseriti in fori da mina non paralleli, non modifica la stabilità (F4 = 0);
- ❖ "volate" irregolari, spesso eseguite con troppo esplosivo, senza "presplitting" e/o in fori da mina non paralleli, peggiorano la stabilità (F4 = -8);
- ❖ l'abbattimento con mezzi meccanici (di solito il "rippaggio") può essere realizzato solo in rocce tenere o molto fratturate ed è spesso associato all'uso preliminare di esplosivi; il fronte di scavo non sempre può essere opportunamente sagomato. Il metodo ha un effetto definito "indifferente" sulla stabilità: F4 = 0.

La Tabella 4.8 mostra i valori finali in termini di SMR, che variano in un *range* scaturito essenzialmente dalla variabilità dell'RMR di base (Tab. 4.6).

Calcolato il valore di SMR, si possono ottenere indicazioni generali sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematismo di rottura che si può instaurare e su eventuali interventi di stabilizzazione (Romana, 1985 e seguenti).

Stendimenti	S1min	S1max	S2max	S2min	S3max	S3min	S4max	S4min
F1	0,97	0,97	0,80	0,80	0,27	0,27	0,03	0
F2	1	1	1	1	1	1	1	1
F3	-25	-25	-25	-25	-60	-60	-60	-60
F4	0	0	15	15	15	15	15	15
SMR	38,9	40,9	51,6	61,0	61,1	63,1	76,4	74,4
Classe	IV	IV	III	II	II	II	II	II
descrizione	SCADENTE	SCADENTE	MEDIOCRE	BUONA	BUONA	BUONA	BUONA	BUONA
stabilità	instabile	instabile	Parz. stabile	stabile	stabile	stabile	stabile	stabile

Modo di rottura	Lungo piani o su grandi cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Lungo piani o per cunei	Possibili blocchi				
Stabilizzazione	estesa	estesa	sistematica	occasionale	occasionale	occasionale	occasionale	occasionale

Tab. 4.8. SMR relativo ai singoli stendimenti.

I risultati ottenuti applicando la Classifica di Romana al fronte in esame sono stati rappresentati nella Tavola 06 "*Carta delle Stazioni Geomeccaniche e della Zonizzazione secondo la Classifica di Romana*".

Su tale elaborato (TAV. 06) sono state riportate anche le stazioni geomeccaniche con le relative isodense e proiezioni stereografiche.

5. CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ A FRANARE

L'incrocio della Carta geologica, della Carta geomorfologica e della Carta con gli indici di Romana su base fotogrammetrica frontale ha permesso di elaborare la Carta di suscettibilità a franare (Di Crescenzo & Santo, 2007).

In particolare su questo elaborato è contemplata la suscettibilità sia all'innescò che all'invasione per frane genericamente definibili "da crollo". Per quanto attiene all'area di invasione, quest'ultima è stata tracciata su base geomorfologica integrando i dati così acquisiti con i risultati delle analisi traiettografiche (vedi Appendice D).

Tale procedura ha consentito, in particolare, di individuare:

- Le aree suscettibili per lo più all'innescò di frane da crollo/scivolamento/ribaltamento ed al transito di blocchi, corrispondenti a buona parte delle pareti ad alto angolo. Tali areali, in considerazione dei valori di SMR, sono stati suddivisi in tre sub-zone:
 - Area suscettibile a rottura di alcuni blocchi isolati. Sono possibili occasionali rotture a cuneo e ribaltamenti "minori". I volumi mobilizzabili sono dell'ordine del decimetro cubo
 - Area suscettibile a rotture planari lungo alcuni giunti e/o a molti scivolamenti a cuneo. Sono possibili ribaltamenti di cui quelli "maggiori" sono in misura ridotta. I volumi mobilizzabili variano tra 0.1 m³ e 0,7 m³
 - Area suscettibile a scorrimenti planari lungo molti giunti e/o a grandi scivolamenti a cuneo. Sono possibili ribaltamenti. I massimi volumi mobilizzabili variano tra 0.7 m³ e 1,5 m³.

Sono state poi evidenziate alcune porzioni di versante (diedri e/o mensole di roccia) in precarie condizioni di instabilità.

- Le aree suscettibili essenzialmente a fenomeni di accumulo per frane da crollo/scivolamento/ribaltamento.

6. ANALISI DELLA CADUTA

L'analisi di caduta blocchi è stata effettuata con il codice *CRSP* (*Colorado Rockfall Simulation Program*) basato su di un metodo analitico, messo a punto presso la *Colorado School of Mines* da Pfeiffer & Bowen (1989a, b), ampiamente testato dalla comunità scientifica.

Il codice *CRSP* richiede i seguenti parametri d'ingresso:

- profilo del pendio, suddiviso in "celle";
- rugosità della superficie di ogni cella;
- coefficiente di restituzione, tangenziale e normale;
- forma e dimensione del blocco;
- punto di partenza e velocità iniziale del blocco.

Il modello prevede alcune semplificazioni. In primo luogo la forma dei blocchi è ipotizzata sferica, cilindrica o discoidale con sezione circolare nel piano verticale del movimento al quale si applicano l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale introducendo, per quest'ultimo, un apposito fattore di scala.

L'impatto e la conseguente dissipazione dell'energia sono determinati utilizzando appositi coefficienti di restituzione (tangenziale e normale) e considerando un coefficiente che esprime la scabrezza del pendio. In tal modo il modello, che considera anche le dimensioni dei blocchi, risulta più realistico rispetto ad altri.

Il modello considera le combinazioni dei movimenti di caduta libera, di rimbalzo, di rotolamento e di scivolamento, che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

I coefficienti di restituzione (Tab. 6.1) utilizzati, che dipendono dalle proprietà dei materiali costituenti il pendio e dal tipo di vegetazione, sono quelli suggeriti da Piteau & Clayton (1976).

In particolare, i suddetti coefficienti sono stati desunti considerando le caratteristiche dei diversi settori di versante interessati dalle traiettorie ipotizzate. In tal modo sono state riconosciute due diverse situazioni indicative dei valori dei relativi coefficienti:

- roccia (calcare);
- detrito con grandi blocchi.

LITOLOGIA	r_n	r_t	s
Roccia (calcare)	0.85	0.70	0,4
Detrito con grandi blocchi	0,65	0,55	0,5

Tab. 6.1. Valori dei coefficienti di restituzione r_n , r_t e di rugosità s tratti da Piteau & Clayton (1976).

Per la determinazione delle massime distanze percorse dai blocchi e dei parametri cinematici (altezza massima di rimbalzo, velocità ed energia di impatto) degli stessi blocchi in prossimità della strada, sono stati costruiti 8 profili topografici (Fig. 6.1), considerati rappresentativi delle traiettorie percorse da blocchi svincolatisi da balze rocciose aventi quota compresa tra 850 ed 865 m. Lungo tali profili sono state simulate, con un'analisi deterministica condotta su 50 lanci utilizzando il programma "GEOROCK" della *GeoStru*, le traiettorie ed i cinematismi di blocchi aventi volume massimo pari a 1.5 m³ (volume ricavato dall'analisi dei blocchi isolati rinvenuti sul versante) e peso di volume assunto pari a 2600 kg/m³.

Per ogni blocco, in linea con quanto suggerito dagli autori del codice *CRSP*, è stata considerata una velocità del moto pari a 3 m/s sia per la componente orizzontale che per quella verticale.

In tutte le simulazioni i blocchi oltrepassano la strada provinciale SP166 per Roccadaspide con valori di energia e di altezze di rimbalzo variabili da sezione a sezione.

In Tabella 6.2 si riportano le energie massime delle traiettorie in corrispondenza della strada per Roccadaspide, mentre in Appendice D per ciascun profilo:

- il grafico indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ogni ascissa individuata con un passo di scansione di 50 m;
- l'istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie in corrispondenza della strada per Roccadaspide.

Profilo	Energia max (kJ) in corrispondenza della SP 166 per Roccadaspide
Profilo 1	1404
Profilo 2	2308
Profilo 3	1095
Profilo 4	399
Profilo 5	501
Profilo 6	1266
Profilo 7	300
Profilo 8	1062

Tabella 6.2. Valori di energie massime delle traiettorie.

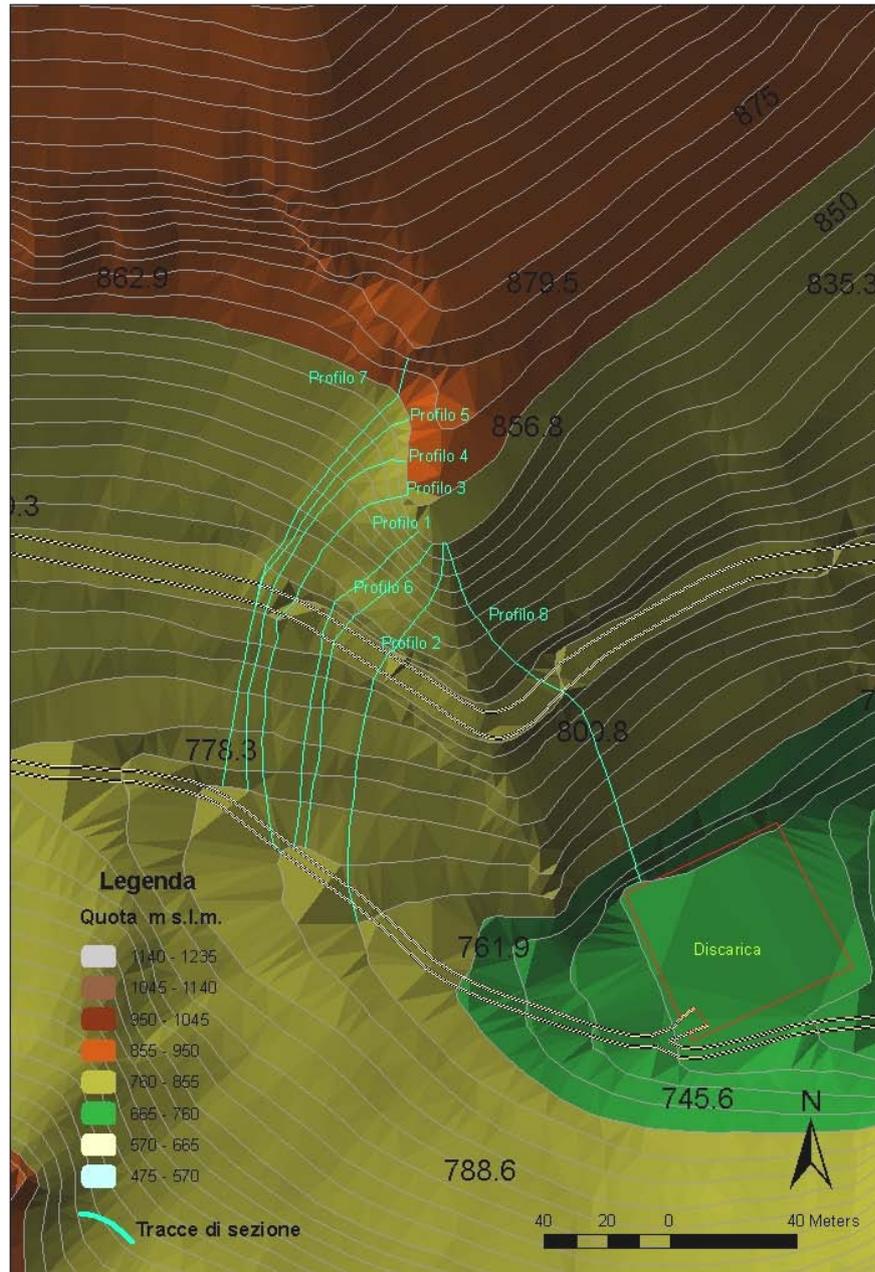


Fig. 6.1. Tracce dei profili utilizzati per l'analisi della caduta blocchi.

7. CRITERI D'INTERVENTO

Al fine di fornire un'indicazione tipologica sugli interventi atti alla mitigazione del rischio da frana è stata redatta la *Tavola 08 - Proposta tipologica sulle possibili opere di intervento; Prospetto frontale*.

La filosofia seguita è stata quella di individuare, in funzione della Carta della Suscettibilità, le soluzioni più idonee al consolidamento dell'area anche in

considerazione delle sue peculiarità geomorfologiche, ambientali, urbanistiche e logistiche.

In tale elaborato sono, pertanto, indicate le aree da sottoporre a consolidamento e le tipologie di intervento da porre in essere, tralasciando il dimensionamento delle opere (dimensione e profondità delle chiodature, diametro delle funi in acciaio per gli imbragaggi, tipologia e dimensione dei tiranti, ecc.), in quanto operazione tipica di una fase progettuale.

Di seguito si descrivono, in maniera sintetica, gli interventi proposti, rimandando all'apposita Tavola per la loro localizzazione:

- Aree da sottoporre a disgaggio diffuso dei blocchi instabili previo decespugliamento dell'intera parete
 - Settore di versante da consolidare con allestimento di reti in aderenza a maglia esagonale con reticolo di rinforzo (a maglia 3x3 m) costituito da funi in acciaio vincolate alla parete grazie alla messa in opera di chiodature
 - Settore di versante da consolidare con allestimento di reti in aderenza a maglia esagonale con reticolo di rinforzo (a maglia 3x3 m) costituito da funi in acciaio vincolate alla parete grazie alla messa in opera di chiodature. I blocchi instabili ($V > 0.5 \text{ m}^3$) ancora presenti sul versante dovranno essere disgiunti o ancorati alla parete integra tramite imbragaggi, chiodature o tirantature
 - I numerosi blocchi già svincolatisi dalle retrostanti pareti ed in appoggio sul versante (blocchi franati) dovranno essere disgregati e trasportati a rifiuto
 - Le mensole non disgiunte potranno essere chiodate od imbracate alla parete retrostante.

Inoltre, in alternativa o in aggiunta a quanto appena indicato si potranno allestire barriere paramassi elastiche poste a monte della Strada Provinciale per Roccadaspide. L'energia di dissipazione e l'altezza di progetto sono state appositamente definite grazie alle verifiche traiettografiche del § 6.

8. BIBLIOGRAFIA

- Bieniawski, Z.T., 1973. *Engineering Classification of jointed rock masses*. Trans. S. Afric. Inst. of Civil Eng., 15, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1974. *Geomechanics Classification of rock masses and its application in tunneling*. Proc. 3rd Int. Cong. on Rock Mechanics, Denver, vol. 2A, 27-32.
- Bieniawski, Z.T., 1979. *The geomechanics classification in rock engineering applications*. Proc. 4th Int. Congr. on Rock Mechanics, vol. 2, 51-58.
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering rock mass classifications*. J. Wiley & Sons, New York.
- Budetta, P., Calcaterra, D., 1991. *Caratteristiche di resistenza al taglio di discontinuità in ammassi carbonatici della Penisola Sorrentina (Campania)*. Atti I Conv. Naz. Giovani Ricercatori Geol. Appl., Gargnano (BS), 22-23 ottobre 1991. In "Ricerca scientifica ed educazione permanente", Suppl. 93:167-176.
- Budetta, P., Calcaterra, D., Santo, A., 1994. *Engineering-geological zoning of potentially unstable rock slopes in Sorrentine Peninsula (southern Italy)*. Proc. 7th Int. Cong. I.A.E.G., Lisbon, Portugal, 2119-2126.
- Budetta, P., de Riso, R., 1988. *Studio delle condizioni di stabilità di alcuni versanti in roccia nell'Appennino campano*. Mem. Soc. Geol. It., 41:917-927.
- Budetta, P., Santo, A., 1994. *Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania (Southern Italy): a case study*. Engineering Geology, 36 (3/4): 197-210.
- Budetta, P., Calcaterra, D., Ducci, D., 1991b. *Caratterizzazione geomeccanica di ammassi rocciosi carbonatici tra Castellammare di Stabia e Vico Equense (Penisola Sorrentina – Campania)*. Geologia Tecnica, 3/91:13-22.
- Deere D.U. (1963) - *Technical description of rock cores for engineering purposes*. Rock Mech. & Eng. Geol., 1, p. 18.
- Di Crescenzo G., Santo A. (2007) - *High resolution mapping of rock fall instability through the integration of photogrammetric, geomorphological and engineering-geological surveys*. Quaternary International, 171-172, 118-130.
- Goodman, R.E., Shi, G-H., 1985. *Block Theory and Its Application to Rock Engineering*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 338 pp.
- Hoek E., 1987. *Rockfall - A program in BASIC for the analysis of rockfalls from slope*. Unpublished notes, Golder Associates/University of Toronto.
- Hudson, J.A., Priest, S.D., 1979. *Discontinuities and rock mass geometry*. International Journal on Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanics, 16, 339-362.

- I.S.R.M., Commission on standardization of laboratory and field tests, 1978. *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abs., 15: 319 – 368.
- Markland, J.T., 1972 *A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected*. Imperial College Rock Mechanics Res. Report, 19: 1 – 10.
- Matheson, G.D., 1988. *The collection and use of field discontinuity data in rock slope design*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 22.
- Palma, B., *Studio geologico ed interventi di mitigazione del rischio per le frane in formazioni lapidee: il caso studio del M.te Vico Alvano in Penisola Sorrentina*. In preparazione.
- Palmstrøm, A., 1995. *RMI – a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. Dissertation for the degree Doctor Scientiarum, University of Oslo.
- Palmstrøm, A., 2000. *Block size and block size distribution*. GeoEng2000, Workshop on Reliability of classification systems, Melbourne, Australia.
- Pfeiffer T., Bowen T., 1989a. *Colorado Rockfall Simulation Program*. Colorado School of Mines, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Final Report.
- Pfeiffer T., Bowen T., 1989b. *Computer Simulation of Rockfalls*. Association of Engineering Geologists Bulletin, 26:117-126.
- Piteau D.R. & Clayton R., 1976. *Computer Rockfall Model*. Proceedings Meeting on Rockfall Dynamics and Protective Works Effectiveness. Bergamo, Italy. ISMES Publication n. 90, pp. 123-125.
- Priest, S.D., Hudson, J.A., 1976. *Discontinuity spacings in rock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 13, 135-148.
- Romana Ruiz, M., 1985. *New adjustment ratings for application of Beniaowski classification to slopes*. Proc. Int. Symp. on "The role of rock mechanics", Zacatecas, 49-53.
- Romana Ruiz, M., 1988. *Practice of SMR classification for slope appraisal*. Proc. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, vol. 2: 1227-1232.
- Romana Ruiz, M., 1991. *SMR classification*. Proc. 7th Int. Cong. on Rock Mech., Aachen, 955-960.

APPENDICE A

STAZIONE ST1

SAN RUFO		ST1	FRONTE 207/76		STENDIMENTO N 117		LUNGH. 8 m				
NUMERO	PROGRESSIVA (m)		TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO
1	0,00	J	260	72	0,30	D-D	7	10	S	I	A
2	0,10	J	110	55	0,80	D-D	5	2,0 - 3,0	deb. O	I	A
3	0,20	J	85	75	0,40	D-D	5	7,0-8,0	deb. O	I e C	A
4	0,25	J	84	30	0,25	D-D	5	0	deb. O	C	A
5	0,35	J	170	85	1,10 - 1,20	X-D	5	ND	deb. O	ND	ND
6	0,40	J	71	75	4,00	X-X	6	4,0-8,0	O	I	A
7	0,60	J	90	80	4,00	X-X	6	2,0-5	deb. O	I	A
8	0,90	J	63	68	1,20	X-X	5	ND	deb. O	ND	ND
9	1,40	J	80	80	0,90	D-R	5	0-2	deb. O	I	A
10	1,50	J	174	85	0,60	X-D	4	1	deb. O	I	A
11	1,65	J	90	66	0,80	X-X	5	0-1	deb. O	I e C	A
12	1,77	J	288	84	1,70	D-X	5	0-1	O	I	A
13	2,00	J	110	46	4,00	X-R	5	0-1	deb. O	C	A
14	2,35	S	358	10			6	0-1	O	A	A
15	2,70	J	88	70	0,45	D-D	5	0	O	A	A
16	2,80	J	318	82	1,20	D-D	5	0	O	C	A
17	2,90	J	300	75	0,90	D-D	5	0	deb. O	C	A
18	3,40	J	130	78	1,00	X-D	5	0-2	deb. O	C	A
19	3,70	J	75	80	4,00	X-X	6	0-1	deb. O	I sporadico	A
20	3,85	J	85	80	1,40	D-X	5	0	deb. O	C	A
21	4,00	J	210	78	0,40	D-D	6	ND	deb. O	ND	ND
22	4,15	J	92	78	2,50	D-X	6	1,0-10	deb. O	I	A
23	4,35	J	92	78	1,20	D-X	6	1,0-5	deb. O	I	A
24	4,70	J	280	78	1,20	D-X	5	2,0-10	O	I poco	A

25	4,95	J	75	80	4,00	X-X	6	1,0-50	O	I	A
26	5,20	J	286	82	0,80	D-X	5	0-2	deb. O	I	A
27	5,25	J	284	60	0,20	D-D	6	0-2	deb. O	I	A
28	5,45	J	275	80	3,00	X-D	6	1,0-10	deb. O	A	A
29	5,50	J	75	80	0,30	D-R	5	0	deb. O	A	A
30	5,70	J	342	78	0,50	D-D	5	ND	deb. O	ND	ND
31	5,80	J	80	84	2,50	D-D	5	0-1	deb. O	C	A
32	6,15	J	80	84	4,00	X-X	5	2,0-10	deb. O	I	A
33	6,55	J	290	82	0,30	D-R	4	0	P	A	A
34	6,80	J	110	80	1,20	D-R	5	0-2	deb. O	C	A
35	6,95	J	84	82	4,50	X-X	6	4,0-10	deb. O	I	A
36	7,10	J	170	64	1,20	D-D	5	0-1	deb. O	C e I	A
37	7,30	J	265	85	0,45	R-D	5	0-1	deb. O	I	A
38	7,35	J	198	70	1,00	X-D	5	ND	deb. O	ND	ND
39	7,45	J	260	85	0,35	D-R	5	2	deb. O	I	A
40	7,55	J	75	84	4,50	X-X	6	1,0-20	O	I	A
41	7,60	J	75	84	2,00	X-X	6	0-1	deb. O	I	A
42	7,70	J	138	50	0,45	D-D	5	ND	deb. O	ND	ND
43	7,85	J	210	80	0,50	D-D	5	0-1	deb. O	I	A
44	7,90	J	302	80	0,45	D-D	6	0-2	deb. O	I	A
45	8,00	J	80	82	4,50	X-X	6	3,0-4	deb. O	I	A

TIPO
S = strato
J = joint
F = faglia

PERSISTENZA
X = non visibile
R = roccia
D = discontinuità

SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO
1 = liscia	P = piana	A = assente
	O = ondulata	C = coesivo
10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente

ACQUA
A = asciutto
U = umido
S = stillicidio
V = venute

SCHMIDT

ST1

Progressiva	Giacitura discontinuità		Lettura impulsi										Orientazione sclerometro				
	IMM	INCL											Verso basso		Verso alto		Orizzontale
			-90°	-45°	+90°	+45°											
8	63	68	26	30	25	42	14	19	32	27	18	21					X
18	130	78	25	18	32	34	36	34	52	21	29	44					X
21	210	78	21	22	24	18	22	14	34	18	26	22					X
25	75	80	38	31	39	25	42	18	42	40	30	38					X

STAZIONE ST2

SAN RUFO

STENDIMENTO		ST2	FRONTE		STENDIMENTO N 118			LUNGH. 4,5 m			
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	J	275	75	6,0-7,0	X-X	6	1,0-80	deb. O	I	S
2	0,05	J	40	80	1,20	D-D	5	ND	deb. O	ND	ND
3	0,10	S	30	12				3,0-4	deb. O	I	A
4	0,11	J	290	78	1,00	D-R	5	1,0-3	deb. O	I	U
5	0,13	J	276	86	0,10	D-R	6	2	deb. O	I	U
6	0,30	J	94	85	0,40	D-D	6	10	deb. O	I	U
7	0,40	J	265	64	0,60	D-D	6	4	deb. O	I	U
8	0,44	J	285	85	0,50	D-D	5	7,0-8	deb. O	I	A
9	0,55	S	45	10				2,0-3	O	I	A
10	0,70	J	66	77	0,35	D-D	5	2	deb. O	I	A
11	0,80	J	185	85	0,40	D-R	6	ND	deb. O	ND	ND
12	0,95	J	100	85	0,35	D-R	5	4	deb. O	I	A
13	1,03	J	282	68	3,00	D-X	6	10	deb. O	I	A
14	1,15	J	208	75	0,20	D-D	5	ND	deb. O	ND	ND
15	1,30	J	284	72	3,00	D-R	6	10,0-30	deb. O	I	U
16	1,45	J	268	80	2,00	D-X	6	10	deb. O	I	A
17	1,65	J	95	72	0,40	R-R	5	0	deb. O	A	A
18	1,80	J	275	75	2,00	D-X	5	20	deb. O	I	A
19	2,05	J	332	75	2,00	D-X	5	20	deb. O	I	A
20	2,15	J	85	78	2,50	X-X	5	10	deb. O	I	A
21	2,20	J	330	78	0,40	D-D	5	ND	deb. O	ND	ND
22	2,25	J	220	85	1,00	D-X	6	1	deb. O	A	A
23	2,35	J	26	85	0,40	D-D	6	A	deb. O	A	A
24	2,55	J	292	85	1,50	D-X	6	20	S	I	A

25	2,65	J	235	85	1,00	D-D	5	ND	deb. O	ND	ND
26	2,70	J	242	86	1,00	D-R	6	5,0-10	deb. O	A	A
27	3,10	J	280	55	0,45	R-R	5	5	O	A	A
28	3,30	J	104	74	0,75	D-R	5	0	deb. O	A	A
29	3,80	J	270	76	0,70	D-D	6	0	deb. O	A	A
30	4,10	J	3	80	1,50	D-X	5	30,0-40	deb. O	I	A
31	4,20	J	95	80	0,40	R-R	5	10	deb. O	A	A
32	4,30	J	95	80	0,40	R-R	5	0	deb. O	A	A
33	4,40	J	340	55	0,70	D-D	5	0	deb. O	A	A
34	4,50	J	60	85	0,60	D-D	5	ND	deb. O	ND	ND

TIPO
S = strato
J = joint
F = faglia

PERSISTENZA
X = non visibile
R = roccia
D = discontinuità

SCABREZZA
1 = liscia
10 = max scab.

FORMA
P = piana
O = ondulata
S = segmentata

RIEMPIMENTO
A = assente
C = coesivo
I = incoerente

ACQUA
A = asciutto
U = umido
S = stillicidio
V = venute

SCHMIDT

ST2

Progressiva	Giacitura discontinuità		Lettura impulsi											Orientazione sclerometro				
	IMM	INCL												Verso basso		Verso alto		Orizzontale
			-90°	-45°	+90°	+45°												
1	275	75	38	47	50	40	40	41	22	49	37	47					X	
2	40	80	37	41	32	38	33	40	40	39	20	42					X	

STAZIONE ST3

SAN RUFO		ST3	FRONTE	260/ 72	STENDIMENTO	N 170	LUNGH. 6 m				
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	J	335	65	1,00	D-D	6	10	deb. O	A	A
2	0,25	J	5	60	0,40	D-D	6	0-1	deb. O	I	A
3	0,55	J	175	80	0,40	D-D	5	0	deb. O	A	A
4	0,70	J	310	55	2,50	X-X	6	5,0-30	deb. O	I	A
5	0,75	J	5	75	0,60	D-D	6	4	deb. O	I	A
6	1,00	J	270	60	1,00	X-R	6	ND	deb. O	ND	ND
7	1,20	J	25	80	0,20	D-D	5	0	deb. O	A	A
8	1,30	J	25	80	0,20	D-D	5	0	deb. O	A	A
9	1,40	J	145	82	0,60	D-D	6	4	O	I	A
10	1,75	J	5	75	0,20	D-D	5	ND	deb. O	ND	ND
11	1,78	J	120	60	1,20	D-D	5	4	O	I	A
12	1,80	S	25	5				3,0-5	deb. O	I	A
13	1,90	J	306	72	0,10	D-D	6	3	deb. O	I	A
14	2,05	J	294	80	0,30	D-D	5	20	deb. O	I	A
15	2,20	J	168	85	0,70	X-D	5	ND	deb. O	ND	ND
16	2,40	J	98	85	1,00	D-D	5	0-3	deb. O	I	A
17	2,43	J	195	85	5,00	X-X	5	30	deb. O	I	A
18	2,50	J	178	85	1,50	D-X	6	5	deb. O	I	A
19	2,80	S	7	5				0-10	deb. O	I	A
20	2,85	J	155	85	0,25	D-D	5	2	deb. O	I	A
21	3,50	J	205	85	0,85	D-D	6	20	O	I	A
22	3,75	J	158	70	0,40	D-D	6	0	deb. O	I	A
23	4,95	J	156	85	0,70	D-D	6	10	deb. O	A	A
24	5,05	J	105	78	0,70	D.R	5	0-3	deb. O	C	A

25	5,20	J	16	85	0,30	D-D	5	3	deb. O	A	A
26	5,30	J	345	80	1,30	D-D	8	20	O	I	A
27	5,60	J	175	65	0,40	D-D	6	10	deb. O	I	A
28	5,75	J	185	80	0,40	D-D	5	4	deb. O	A	A
29	5,80	S	4	10				0-5	deb. O	A	A
30	6,00	J	150	70	0,10	D-D	6	2	deb. O	A	A

TIPO
S = strato
J = joint
F = faglia

PERSISTENZA
X = non visibile
R = roccia
D = discontinuità

SCABREZZA
1 = liscia
10 = max scab.

FORMA
P = piana
O = ondulata
S = segmentata

RIEMPIMENTO
A = assente
C = coesivo
I = incoerente

ACQUA
A = asciutto
U = umido
S = stillicidio
V = venute

SCHMIDT

ST3

Progressiva	Giacitura discontinuità		Lettura impulsi										Orientazione sclerometro				
	IMM	INCL											Verso basso		Verso alto		Orizzontale
			-90°	-45°	+90°	+45°											
17	195	85	44	25	52	18	18	38	36	28	32	35					X
23	156	85	32	18	33	36	36	24	30	30	30	40					X

STAZIONE ST4

SAN RUFO												
STENDIMENTO		ST4	FRONTE 165 / 80		STENDIMENTO N 75			LUNGH. 3,9 m				
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA	
1	0,00	J	280	80	0,25	D-D	5	2	deb: O	A	A	
2	0,10	J	112	60	0,15	D-D	6	8	deb: O	A	A	
3	0,15	J	290	80	0,40	D-D	6	10	deb: O	A	A	
4	0,20	J	215	80	0,90	D-X	6	8	deb: O	A	A	
5	0,40	J	115	80	0,25	D-D	5	0	deb: O	C	A	
6	0,45	J	178	85	0,30	D-D	5	0	deb: O	ND	ND	
7	0,60	J	108	80	0,20	D-D	5	0	deb: O	ND	ND	
8	0,70	J	180	78	0,50	D-X	5	1	deb: O	I	A	
9	0,75	J	123	75	0,40	D-D	5	2	deb: O	I	A	
10	1,00	J	104	85	0,25	D-D	5	0-1	deb: O	C	A	
11	1,35	J	285	78	0,35	D-D	5	0-2	deb: O	A	A	
12	1,60	J	335	72	1,00	D-D	5	0-1	deb: O	A	A	
13	1,70	J	75	75	1,50	D-D	6	10	O	A	A	
14	1,85	J	8	80	0,15	D-D	5	2	deb: O	I	A	
15	2,00	J	200	88	2,50	X-D	6	0-20	O	I	A	
16	2,15	S	12	15	2,25			0-5	deb: O	I	A	
17	2,30	J	295	80	2,50	D-X	6	0	deb: O	A	A	
18	2,40	J	105	65	0,25	D-D	5	1	deb: O	A	A	
19	3,00	J	290	85	2,00	D-X	6	30	deb: O	A	A	
20	3,35	J	250	85	0,30	D-D	5	0	deb: O	A	A	
21	3,45	J	22	80	0,60	D-X	5	0	deb: O	A	A	
22	3,60	J	290	80	1,50	D-X	5	10	deb: O	I	A	
23	3,90	J	250	80	0,20	R-R	6	1	deb: O	C	A	

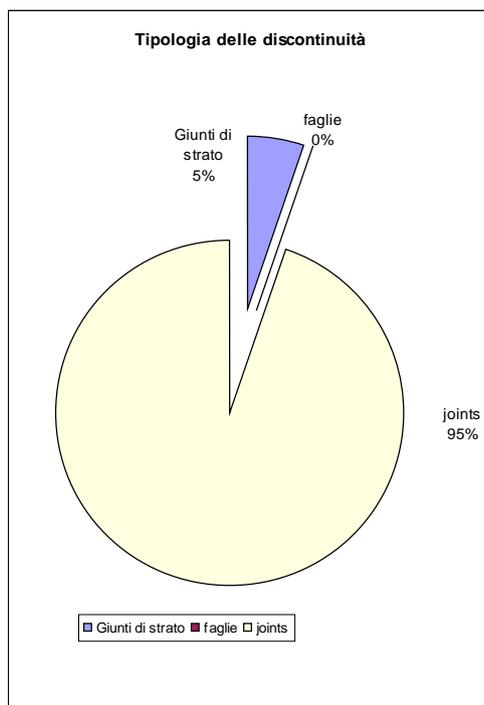
TIPO	PERSISTENZA	SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
S = strato	X = non visibile	1 = liscia	P = piana	A = assente	A = asciutto
J = joint	R = roccia	10 = max scab.	O = ondulata	C = coesivo	U = umido
F = faglia	D = discontinuità		S = segmentata	I = incoerente	S = stillicidio
					V = venute

SCHMIDT

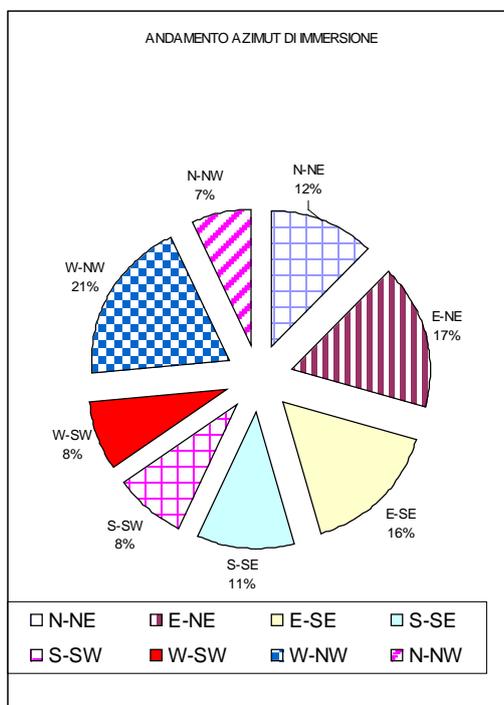
ST4

Progressiva	Giacitura discontinuità		Lettura impulsi										Orientazione sclerometro				
	IMM	INCL											Verso basso		Verso alto		Orizzontale
			-90°	-45°	+90°	+45°											
8	180	78	34	36	36	46	37	41	36	24	33	35					X

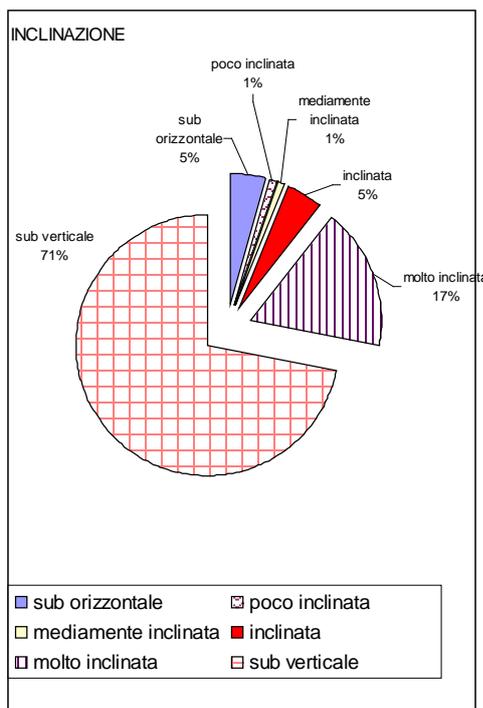
Diagrammi relativi all'elaborazione della principali caratteristiche delle discontinuità identificate nelle stazioni geomeccaniche.



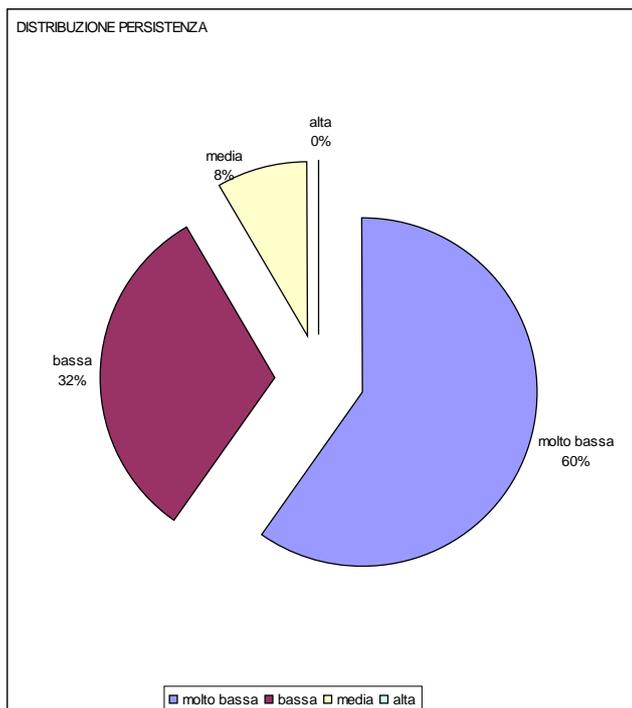
Elaborazione della tipologia di discontinuità identificate nelle stazioni. I joints rappresentano il 95% delle discontinuità mentre il 5% è costituito da giunti di strato.



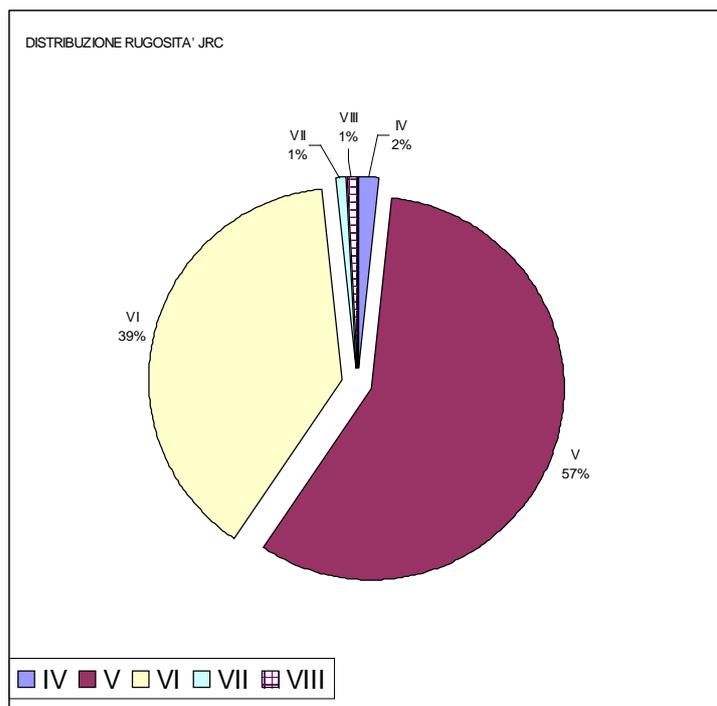
Elaborazione dell'andamento dell'azimut di immersione delle discontinuità identificate. Le classi maggiormente rappresentate sono la W-NW, la E-NE, la E-SE, la N-NE, e la S-SE, che rappresentano il 77% del totale, con valori percentuali variabili dal 21% al 11%; il restante 23% è suddiviso tra le classi S-SW, la W-SW, e N-NW, ciascuna avente valori percentuali inferiori all'8%.



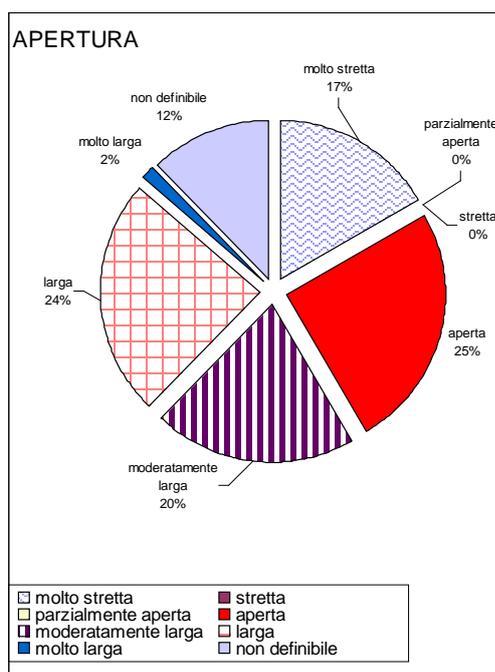
Distribuzione dell'inclinazione delle discontinuità esaminate.
 L'88% delle discontinuità appartiene alle classi "subverticale" e "molto inclinata", mentre il restante 12% è suddiviso tra le classi "inclinata", "mediamente inclinata", "poco inclinata" e "sub orizzontale".



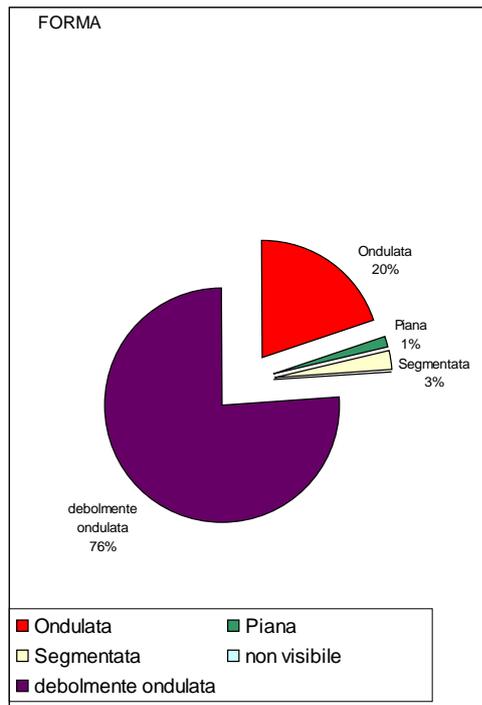
Distribuzione della persistenza delle discontinuità esaminate nelle stazioni.
 Le discontinuità appartenenti alla classe di persistenza "molto bassa" e "bassa" rappresentano il 92% delle discontinuità, mentre il restante 8% appartiene alla classe "media".



Distribuzione della rugosità JRC delle discontinuità identificate. Le classi V e VI sono le più rappresentate, con una percentuale complessiva del 96%, mentre le classi IV, VII e VIII sono rappresentate con una percentuale del 4%.



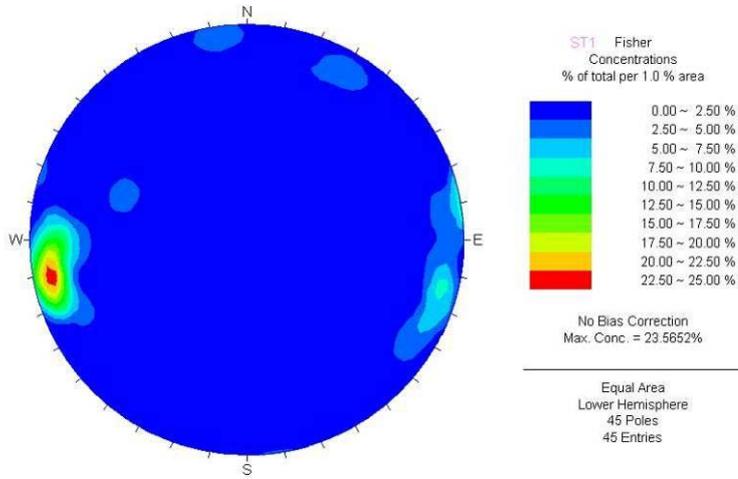
Distribuzione dell' apertura delle discontinuità identificate nelle stazioni. Alla classe "molto stretta" appartiene il 17 % delle discontinuità esaminate, alla classe "aperta" il 25%, alla classe "moderatamente larga" il 20% ed alle classi "larga" e "molto larga" il 26%. Per il restante 12% l'apertura è risultata non definibile.



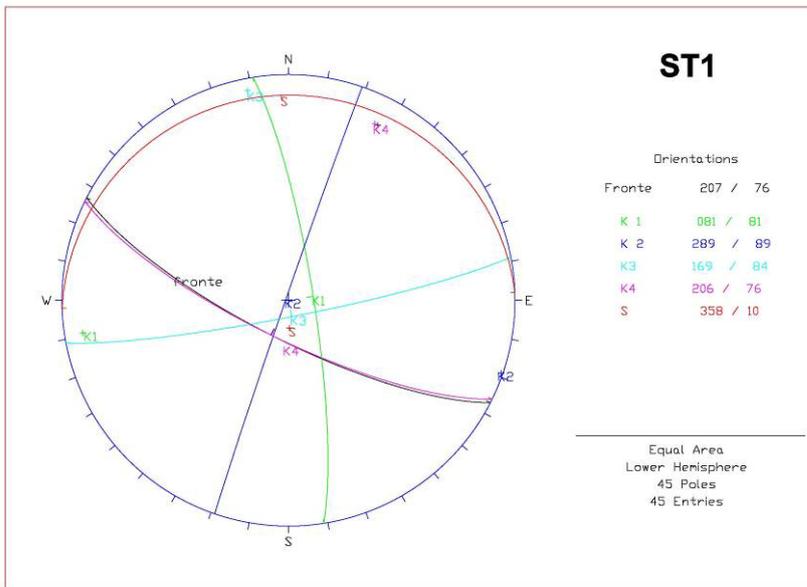
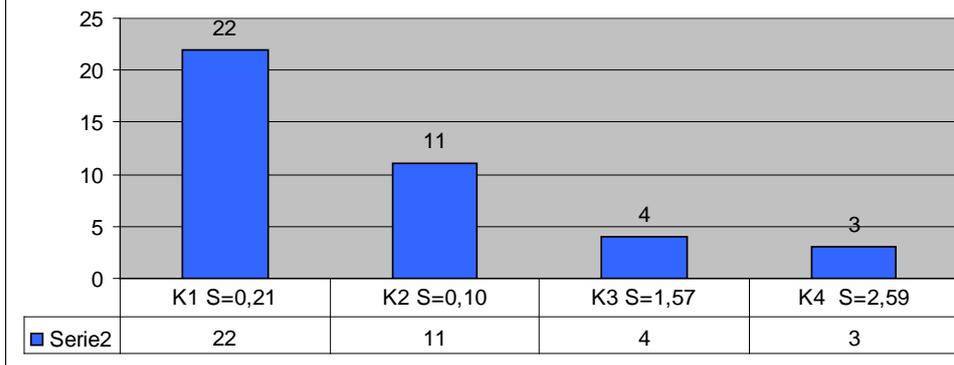
*Distribuzione della forma delle discontinuità esaminate.
 Le discontinuità sono per il 96% di forma "debolmente ondulata" ed "ondulata", mentre il restante 4% ha forma "segmentata" o "piana".*

APPENDICE B

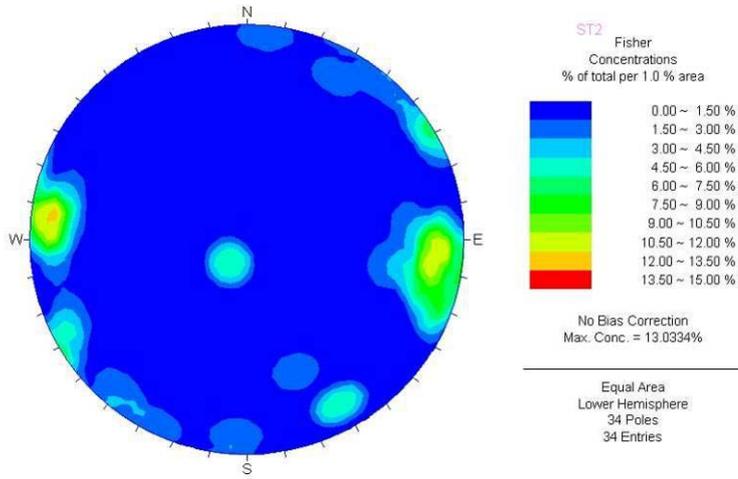
STAZIONE ST1



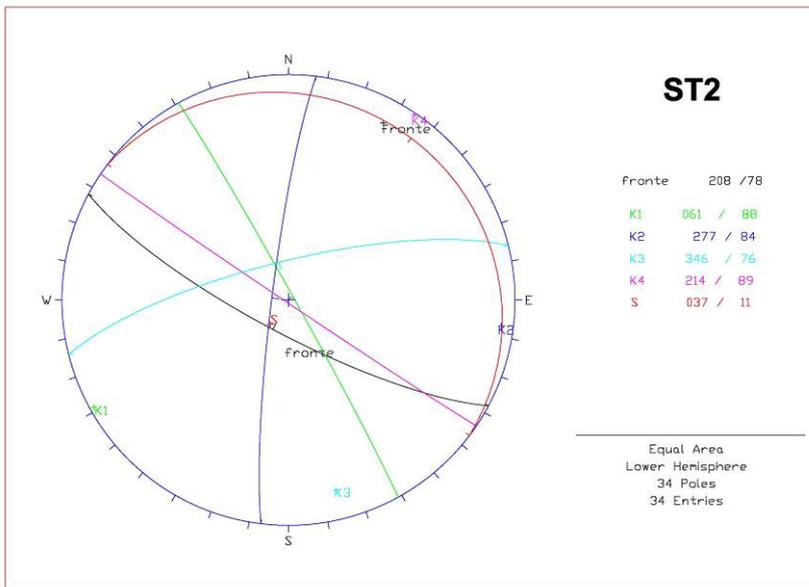
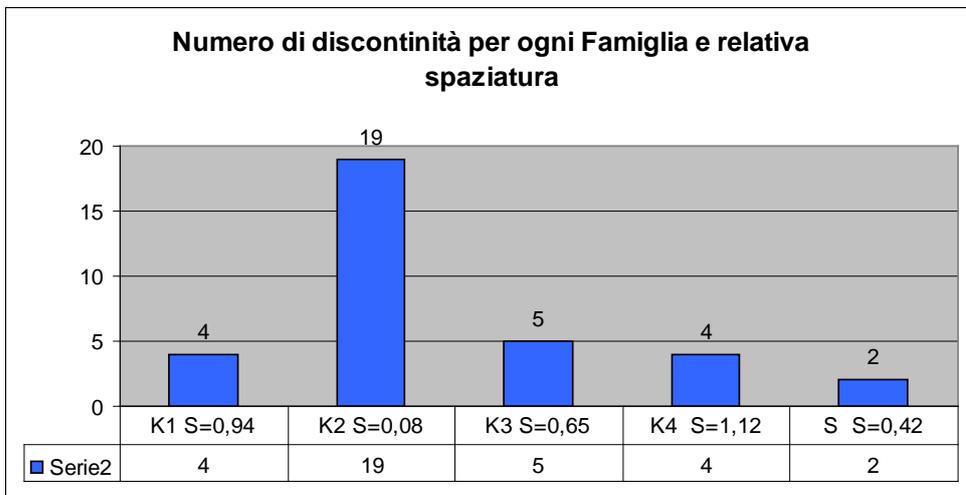
Numero di discontinuità per ogni Famiglia e relativa spaziatura



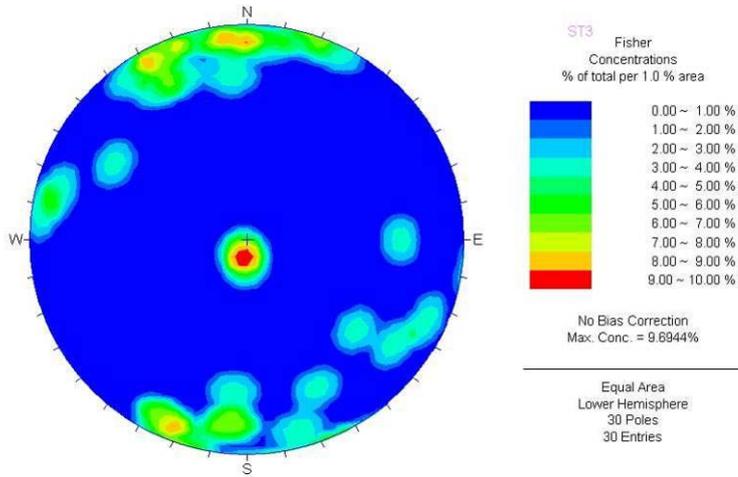
STAZIONE ST2



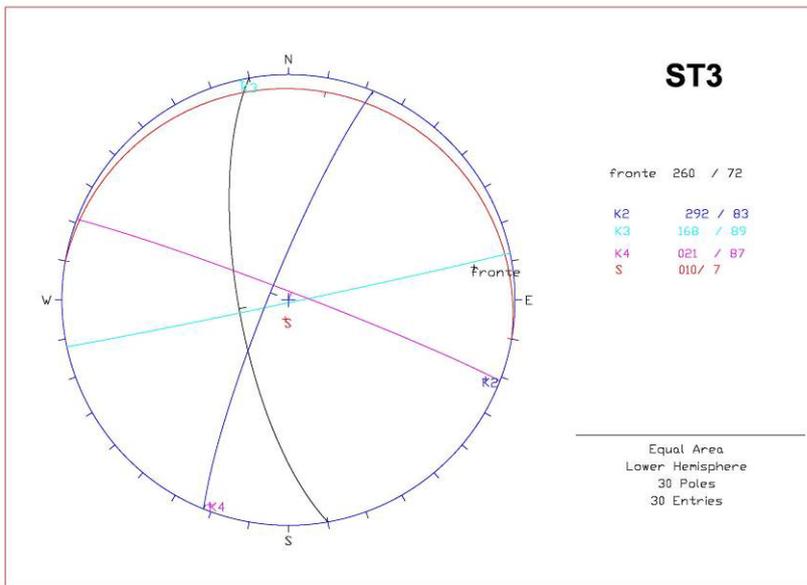
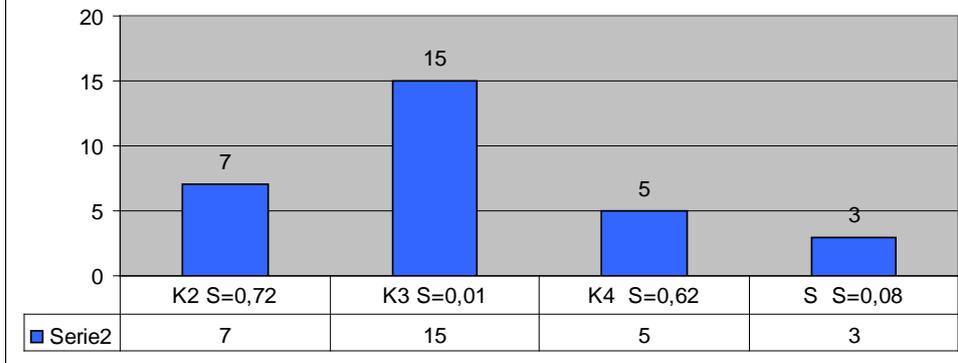
Numero di discontinuità per ogni Famiglia e relativa spaziatura



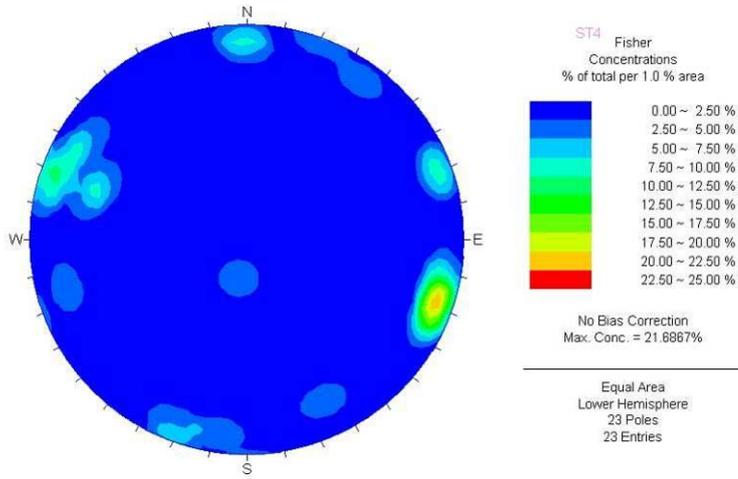
STAZIONE ST3



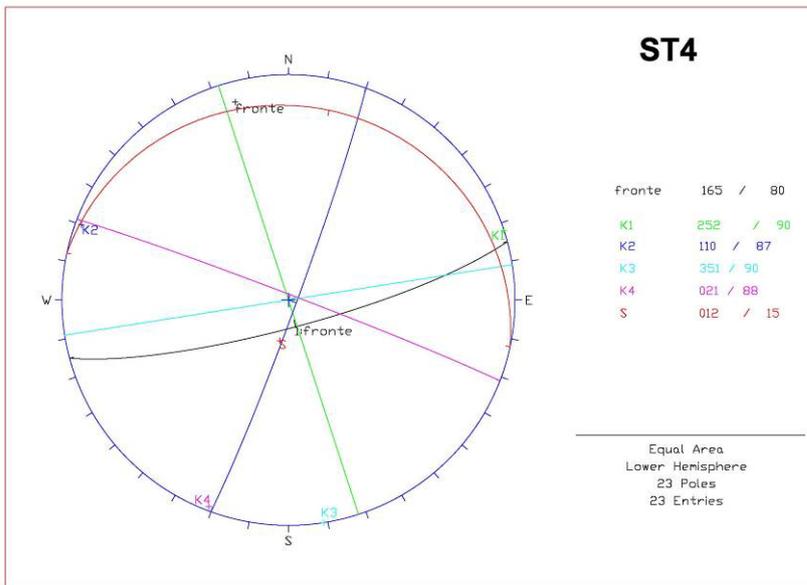
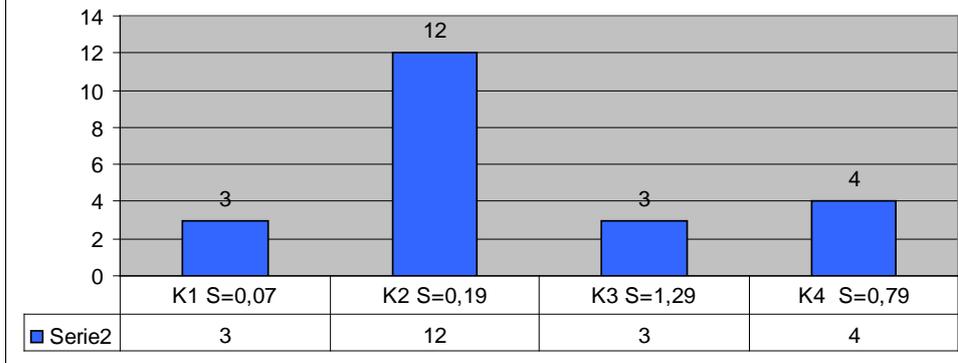
Numero di discontinuità per ogni Famiglia e relativa spaziatura



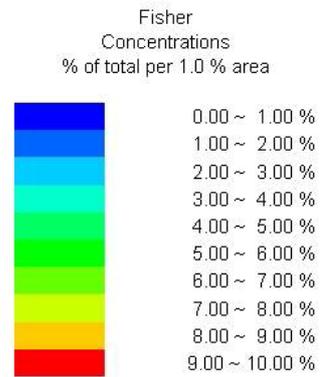
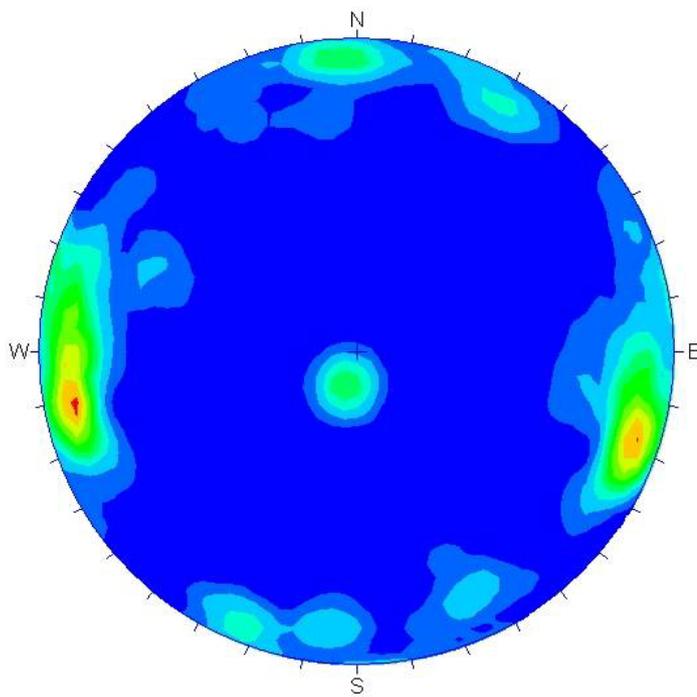
STAZIONE ST4



Numero di discontinuità per ogni Famiglia e relativa spaziatura

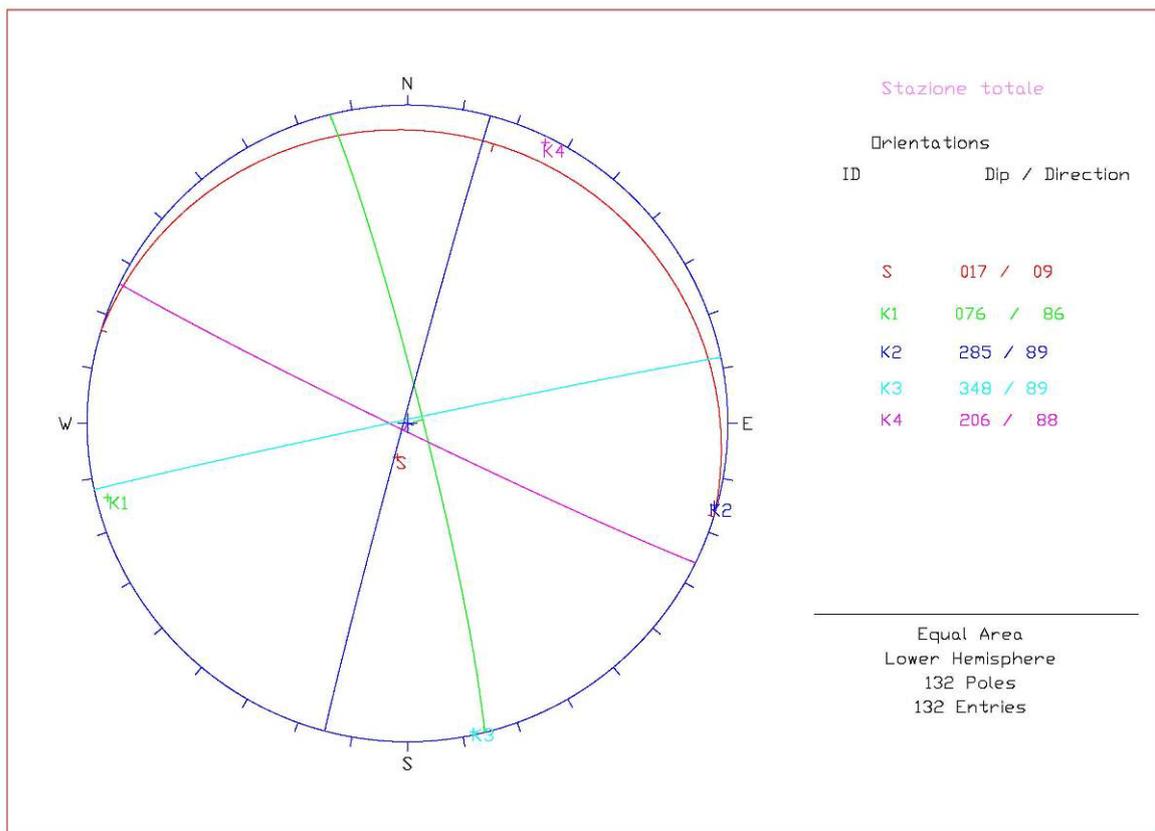


STAZIONE TOTALE



No Bias Correction
Max. Conc. = 9.3381%

Equal Area
Lower Hemisphere
132 Poles
132 Entries



Stazione totale

Orientations
ID Dip / Direction

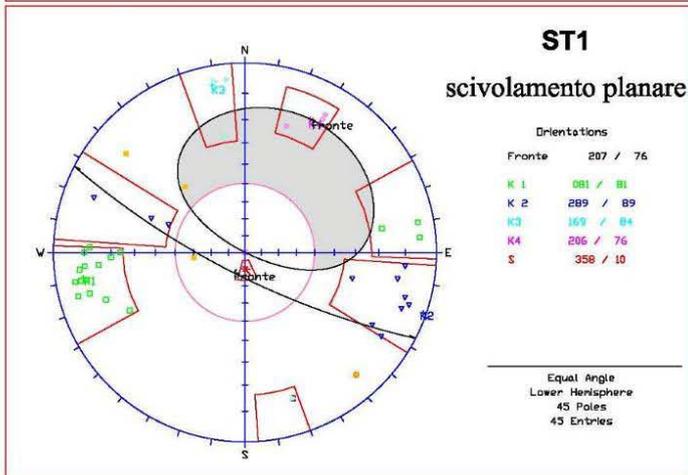
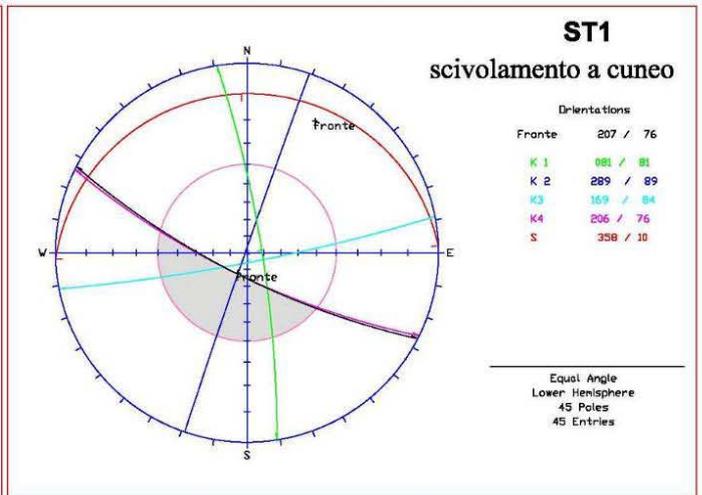
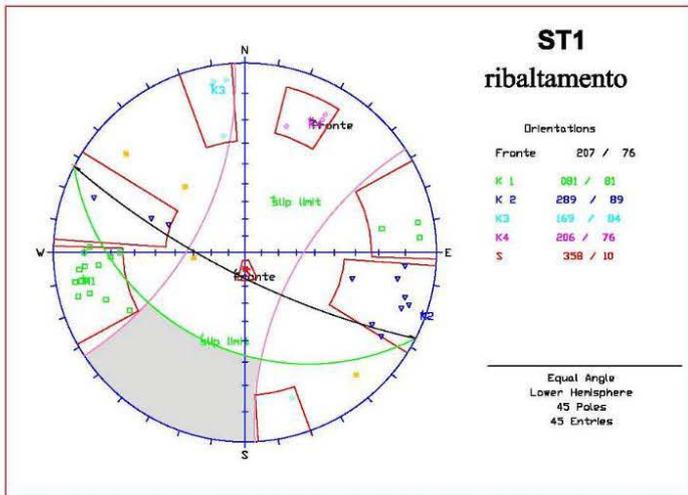
S	017 / 09
K1	076 / 86
K2	285 / 89
K3	348 / 89
K4	206 / 88

Equal Area
Lower Hemisphere
132 Poles
132 Entries

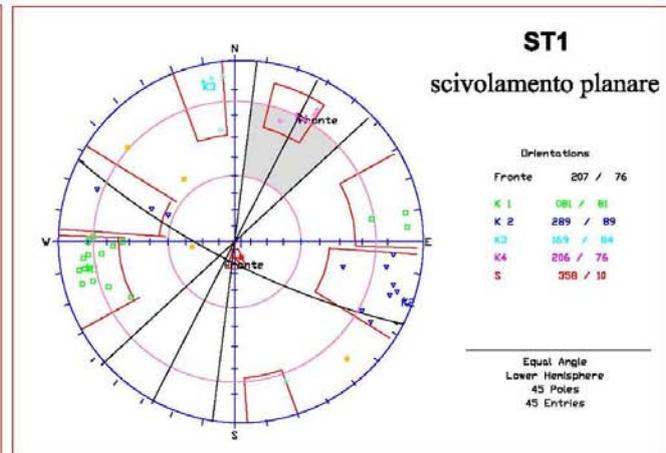
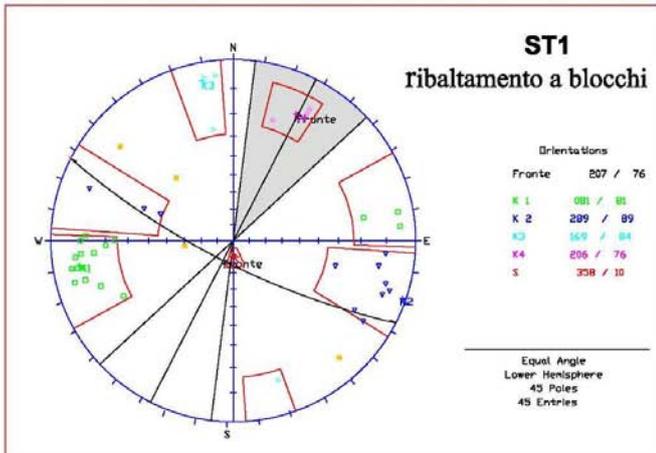
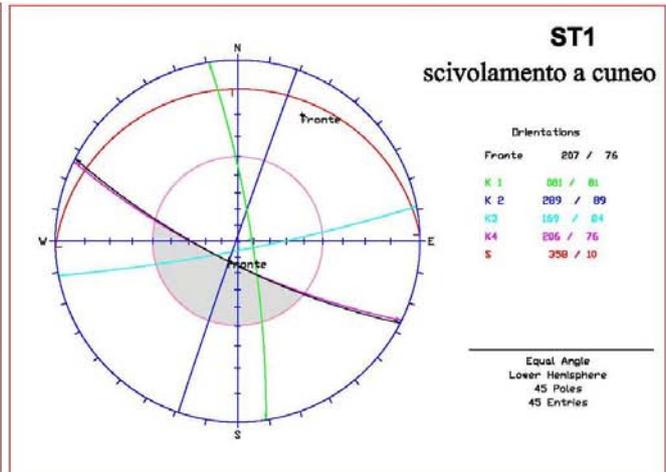
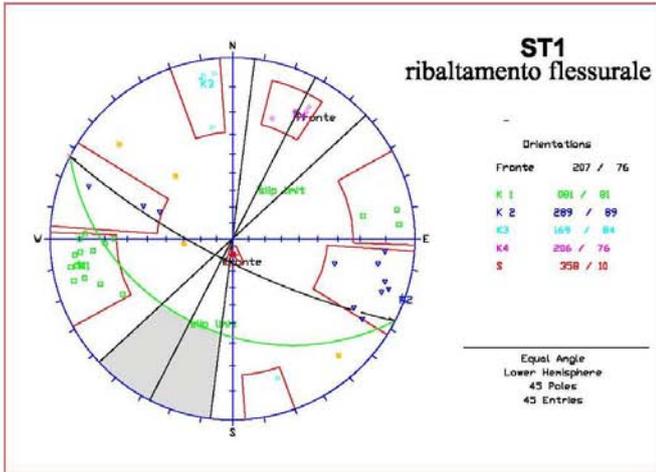
APPENDICE C

STAZIONE ST1

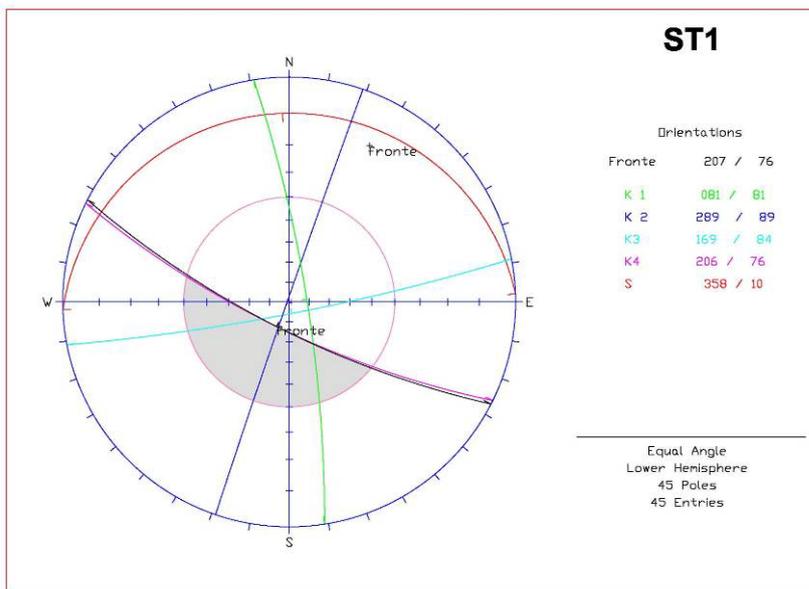
Test di Goodmann



Test di Matheson

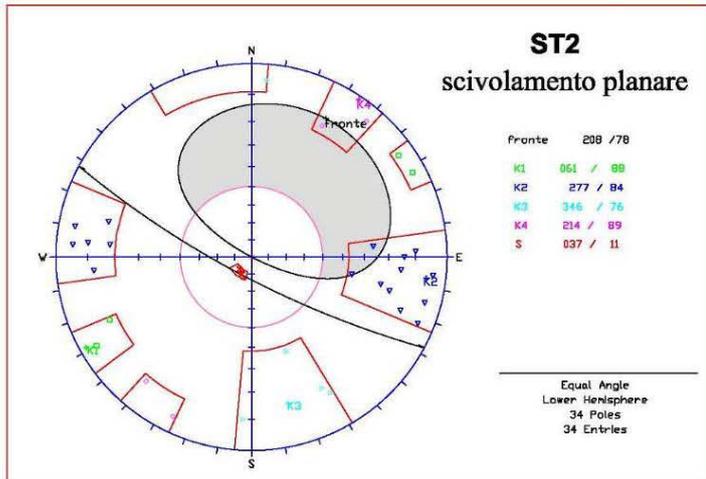
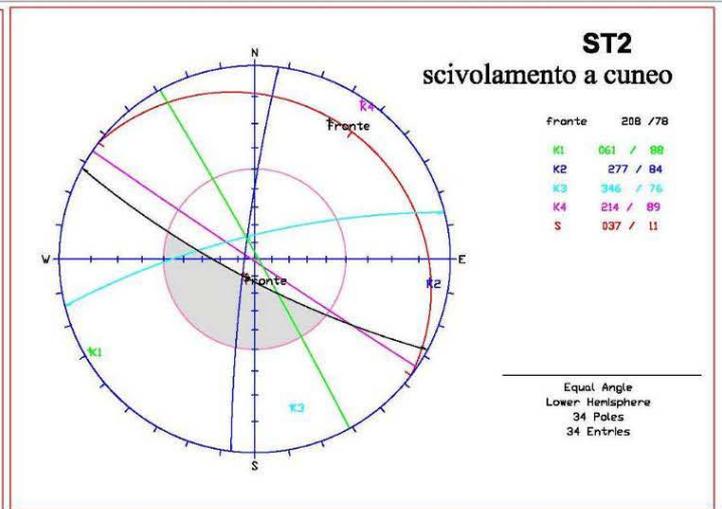
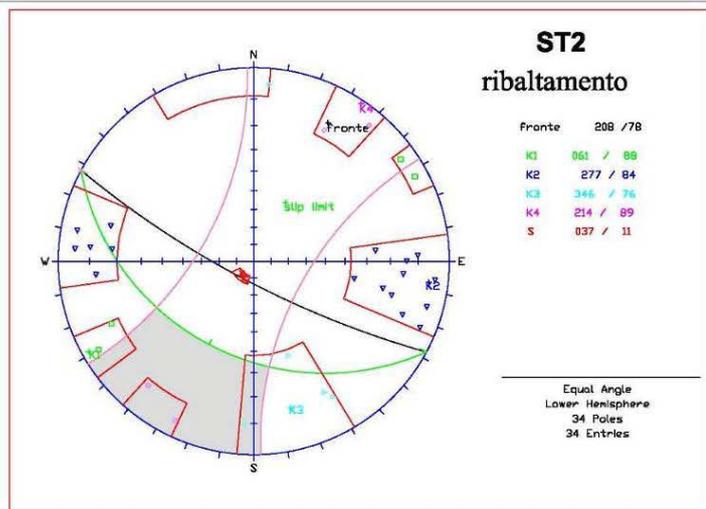


Test di Markland

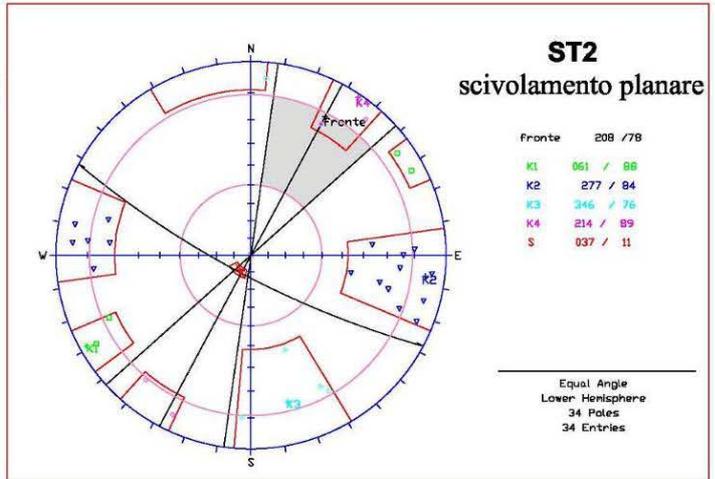
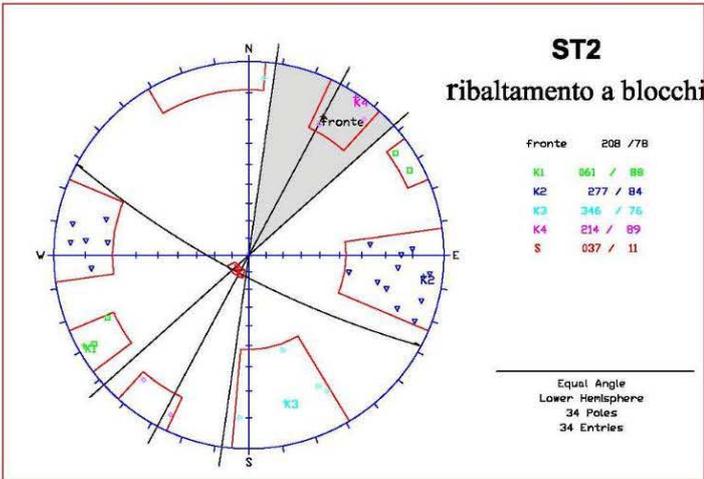
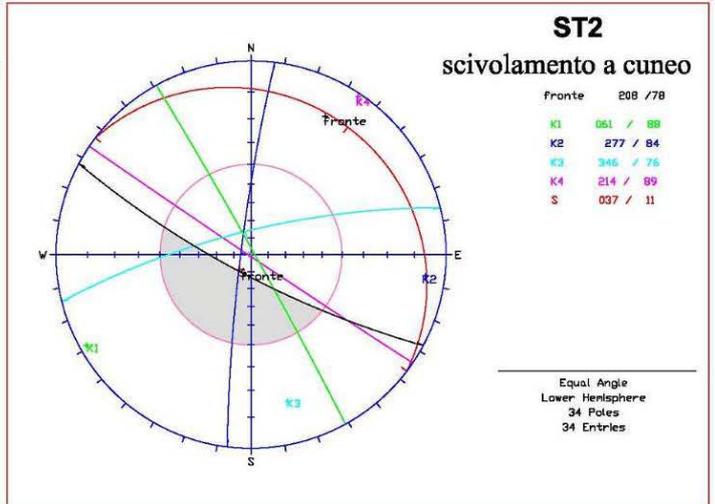
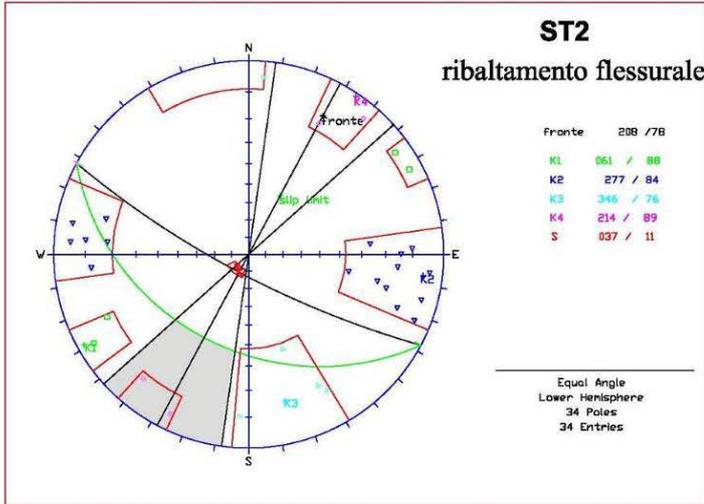


STAZIONE ST2

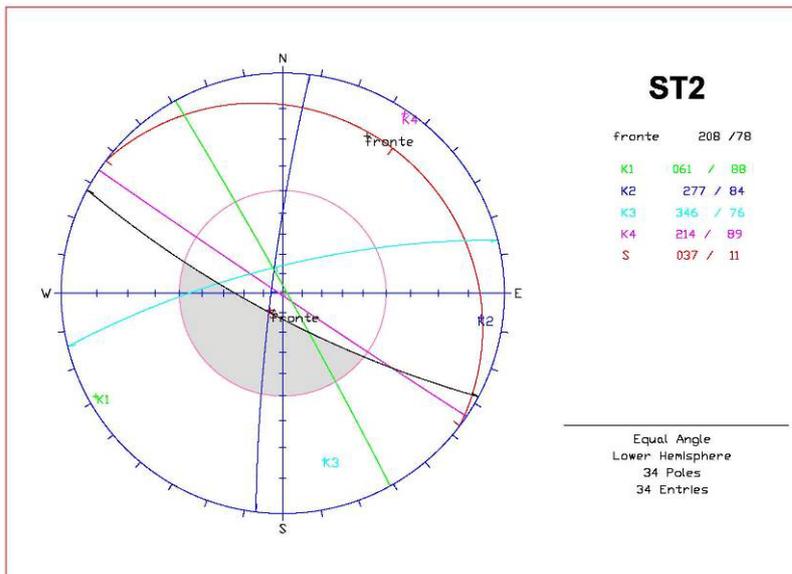
Test di Goodmann



Test di Matheson

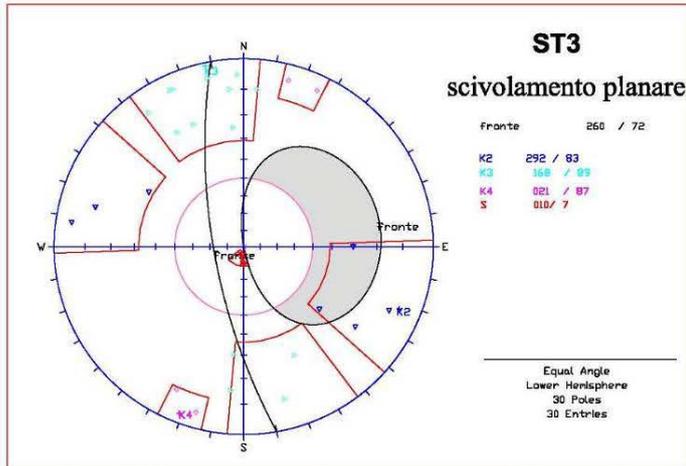
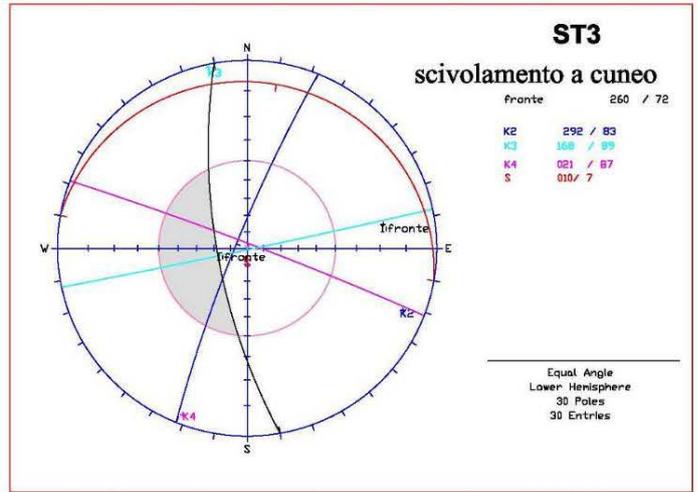
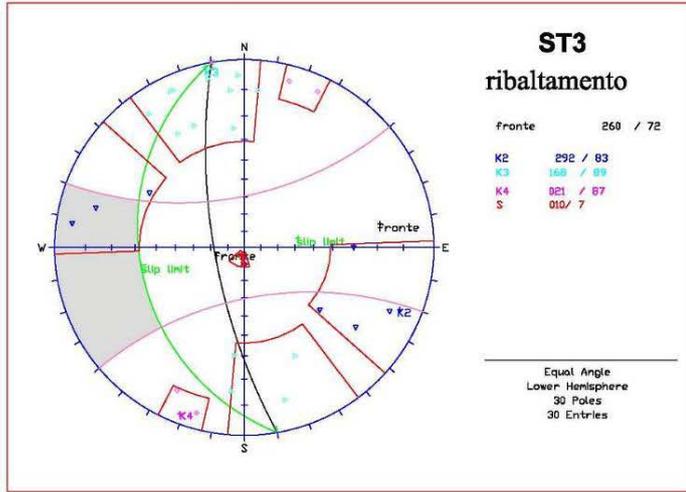


Test di Markland

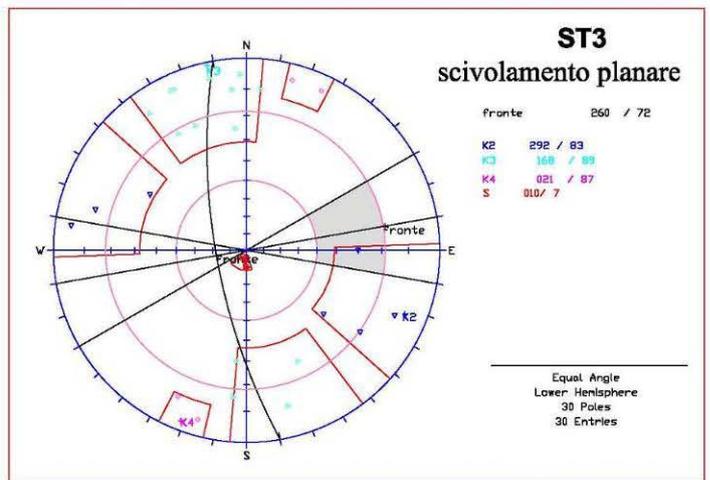
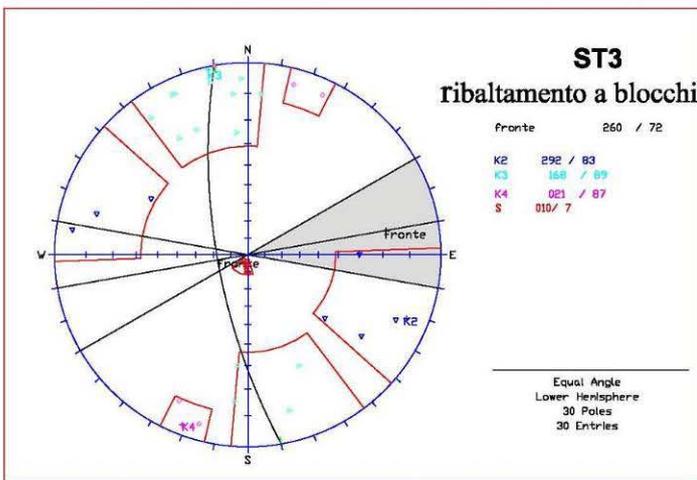
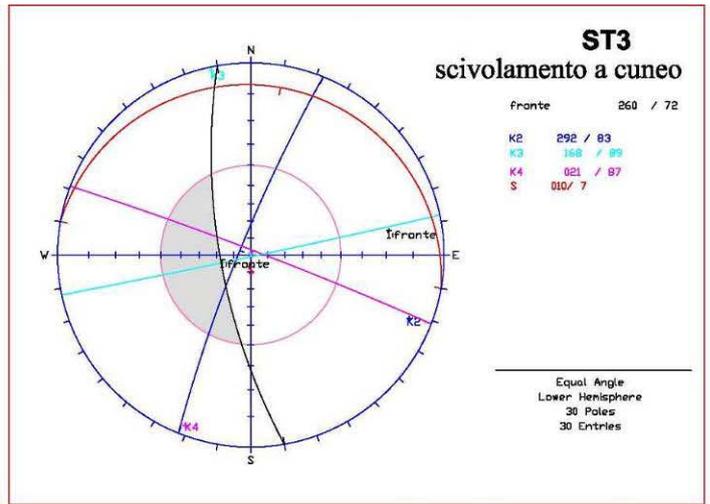
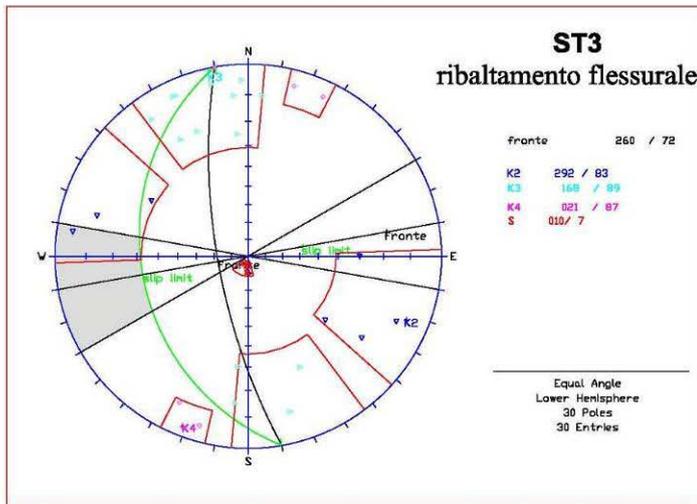


STAZIONE ST3

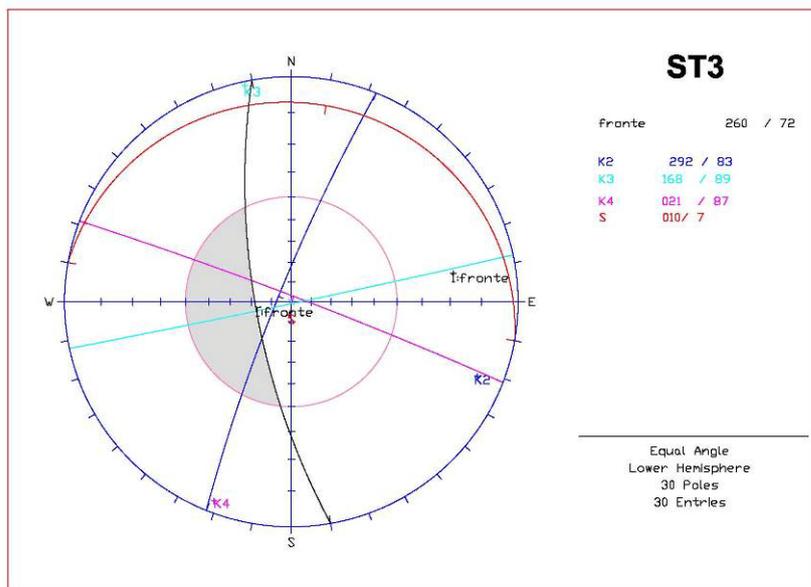
Test di Goodmann



Test di Matheson

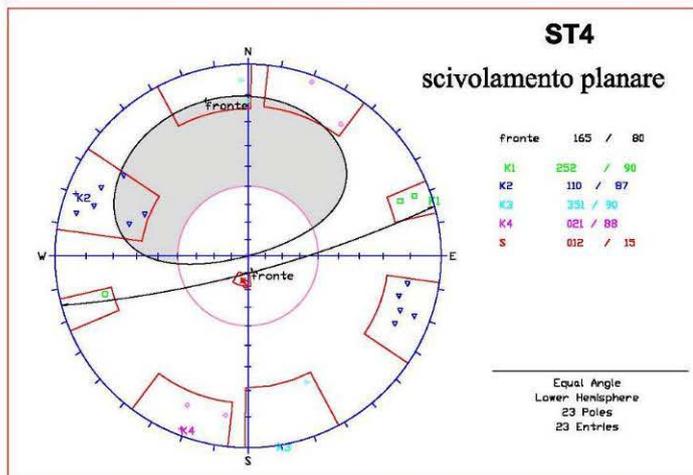
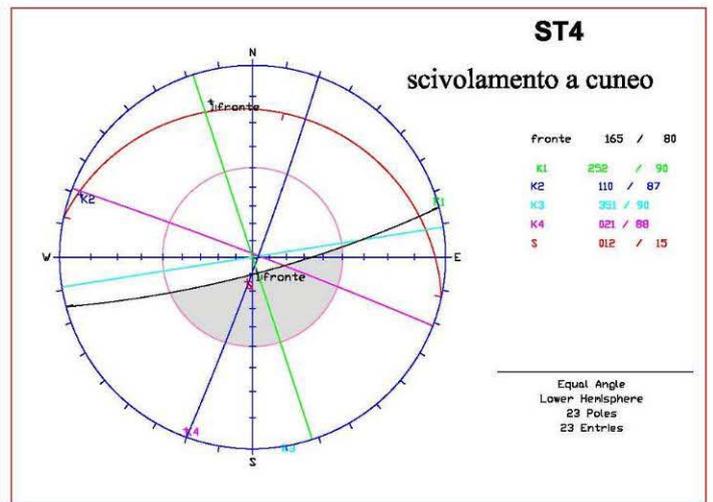
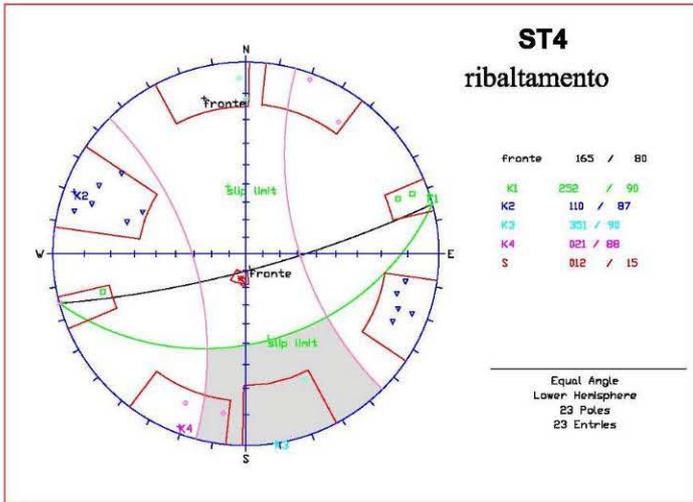


Test di Markland

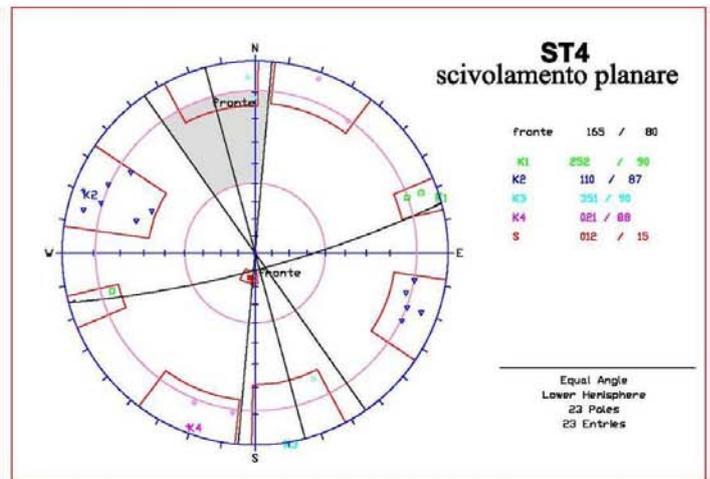
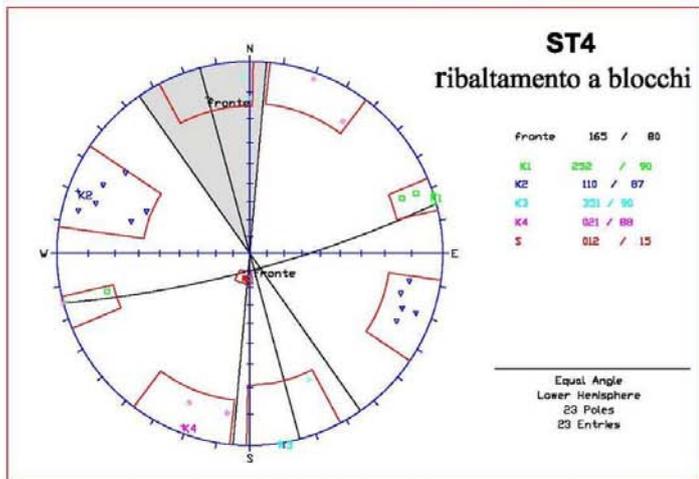
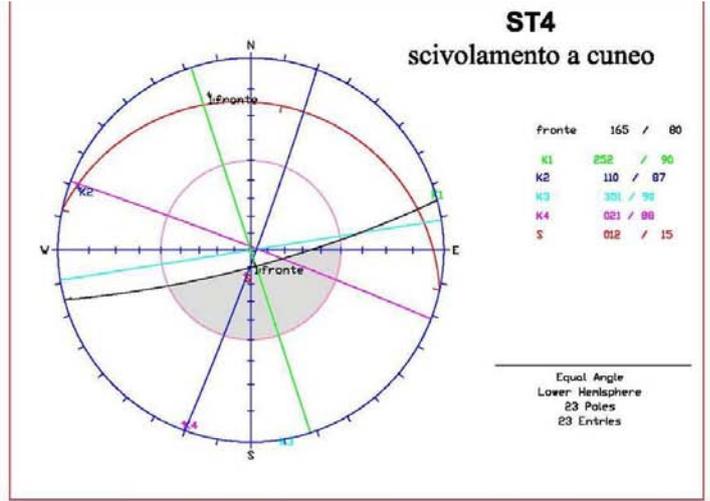
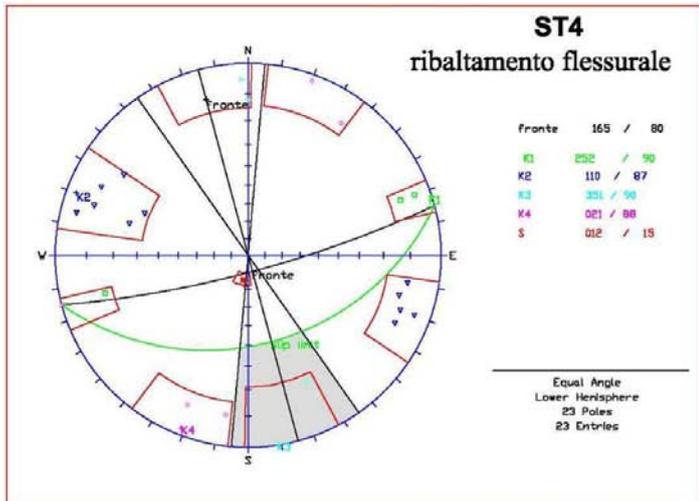


STAZIONE ST4

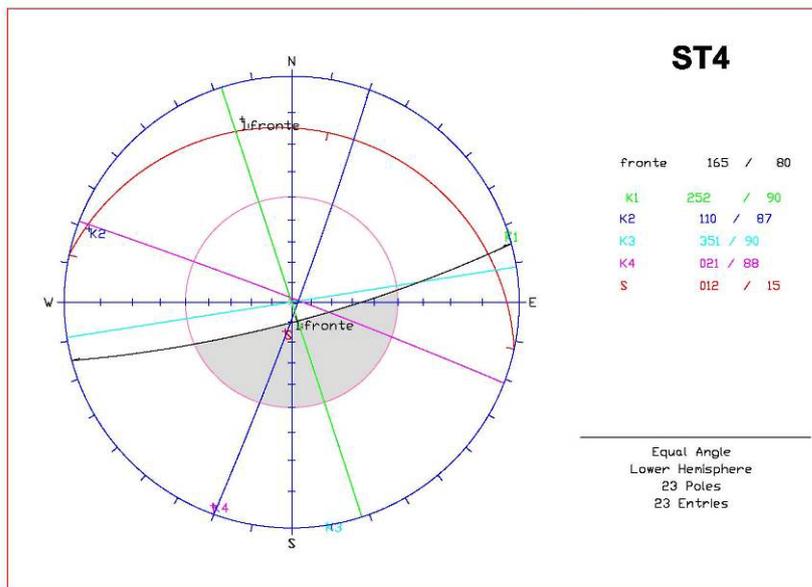
Test di Goodmann



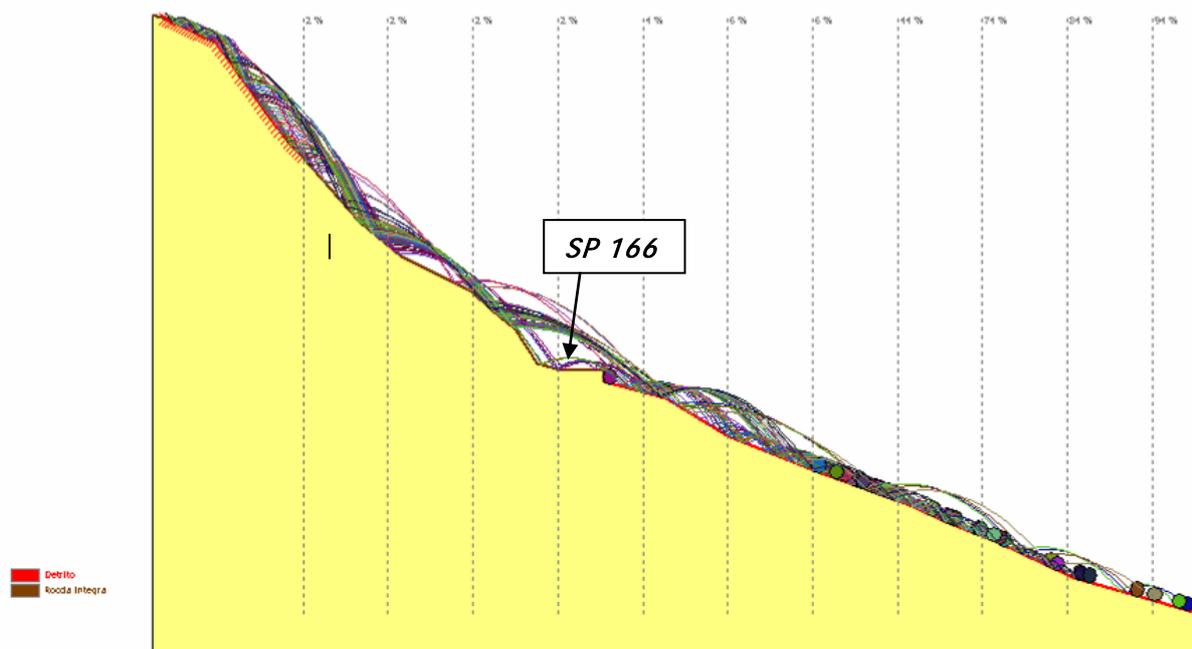
Test di Matheson



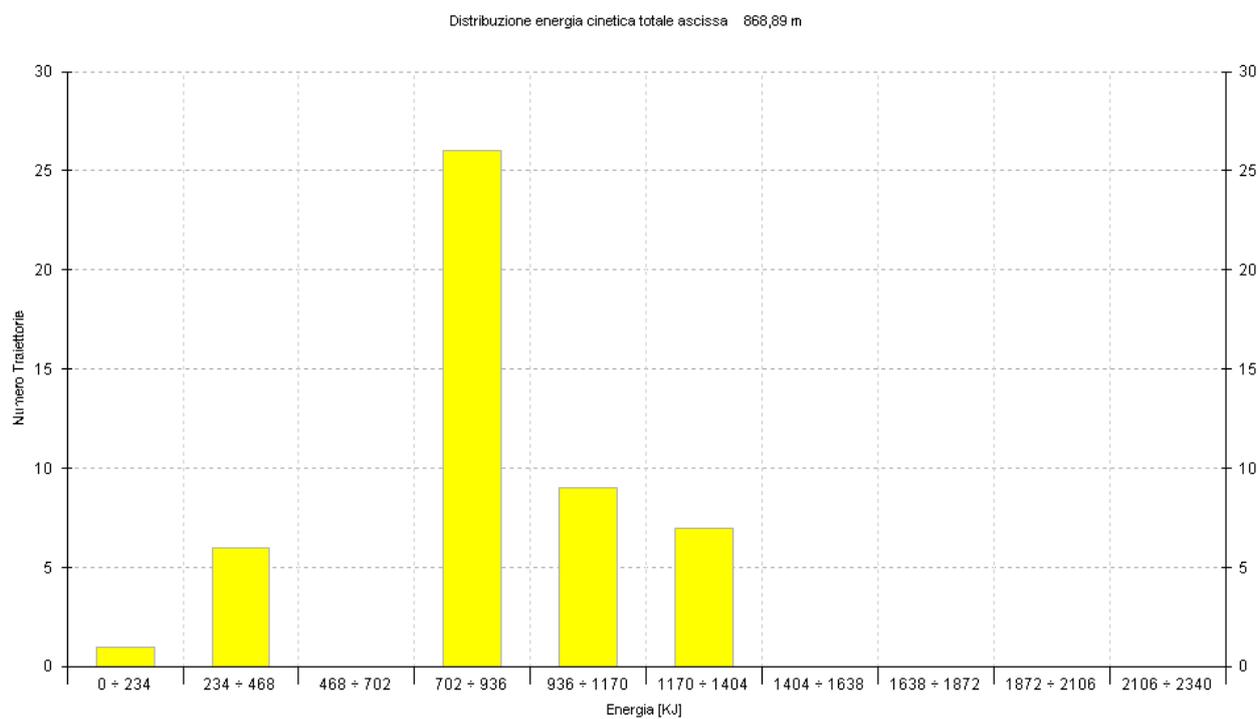
Test di Markland



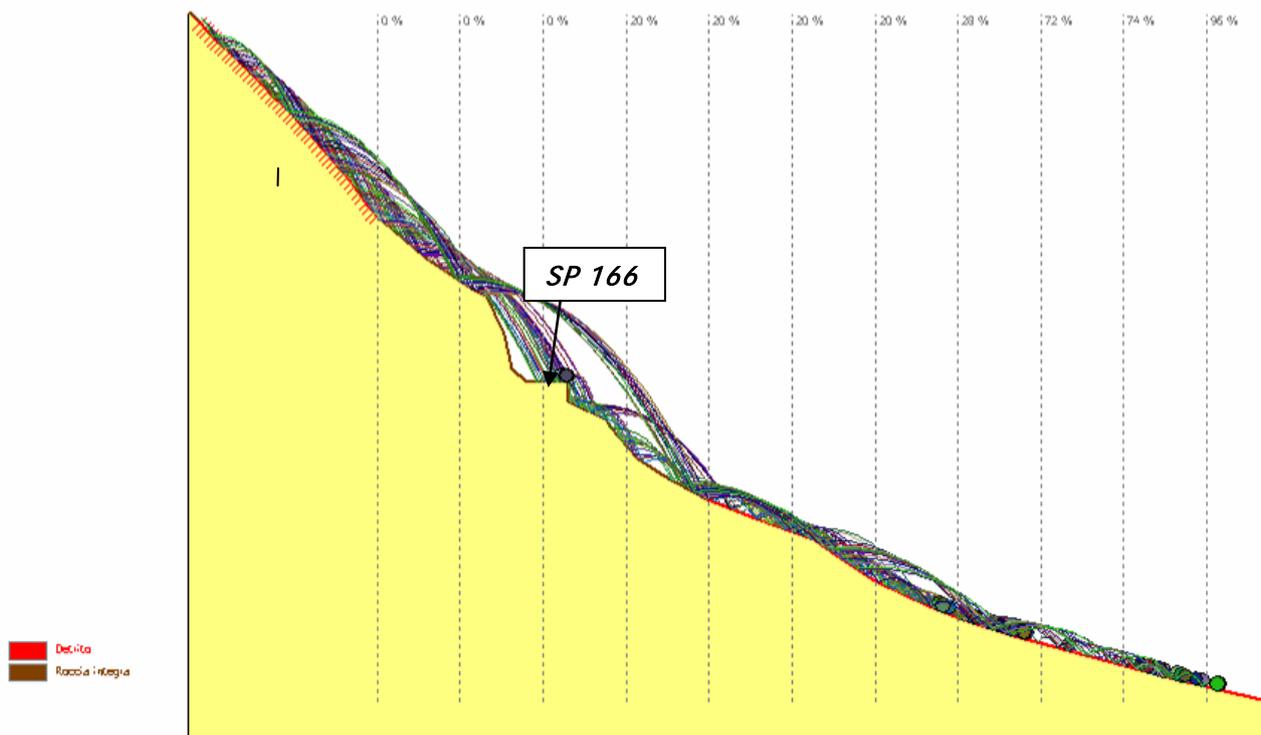
APPENDICE D



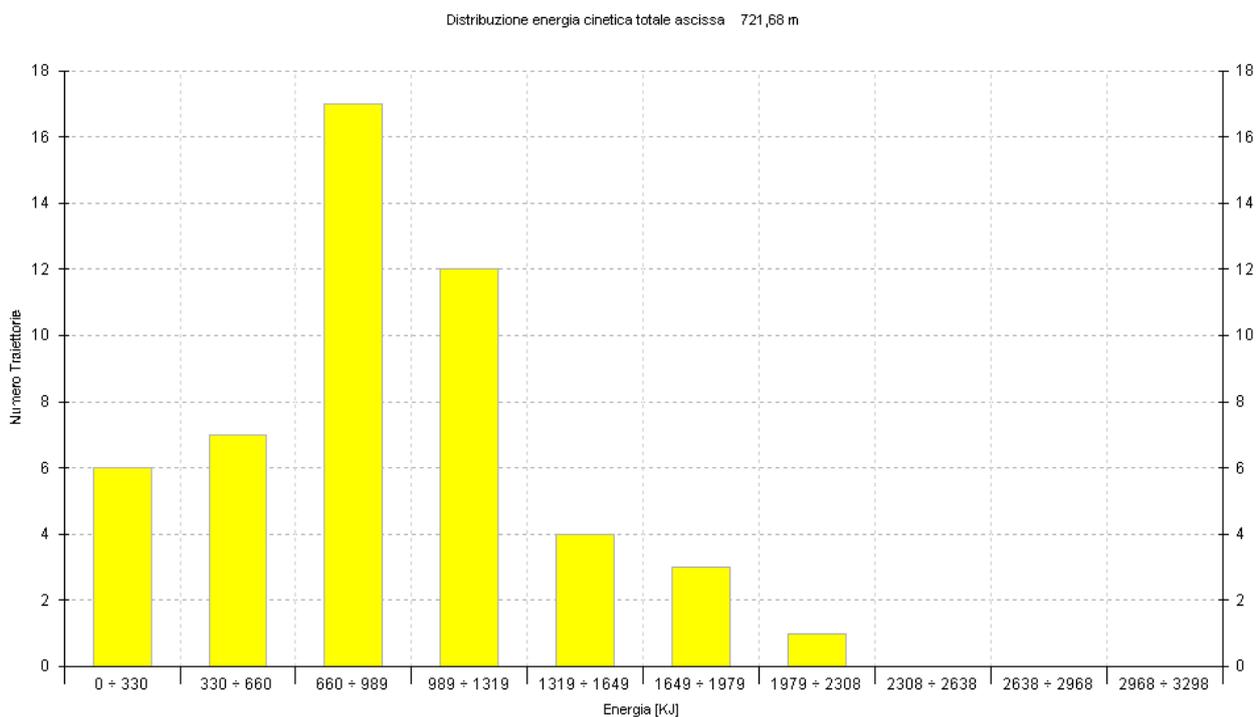
Sezione corrispondente al profilo 1 indicante la percentuale di massi in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 10 m



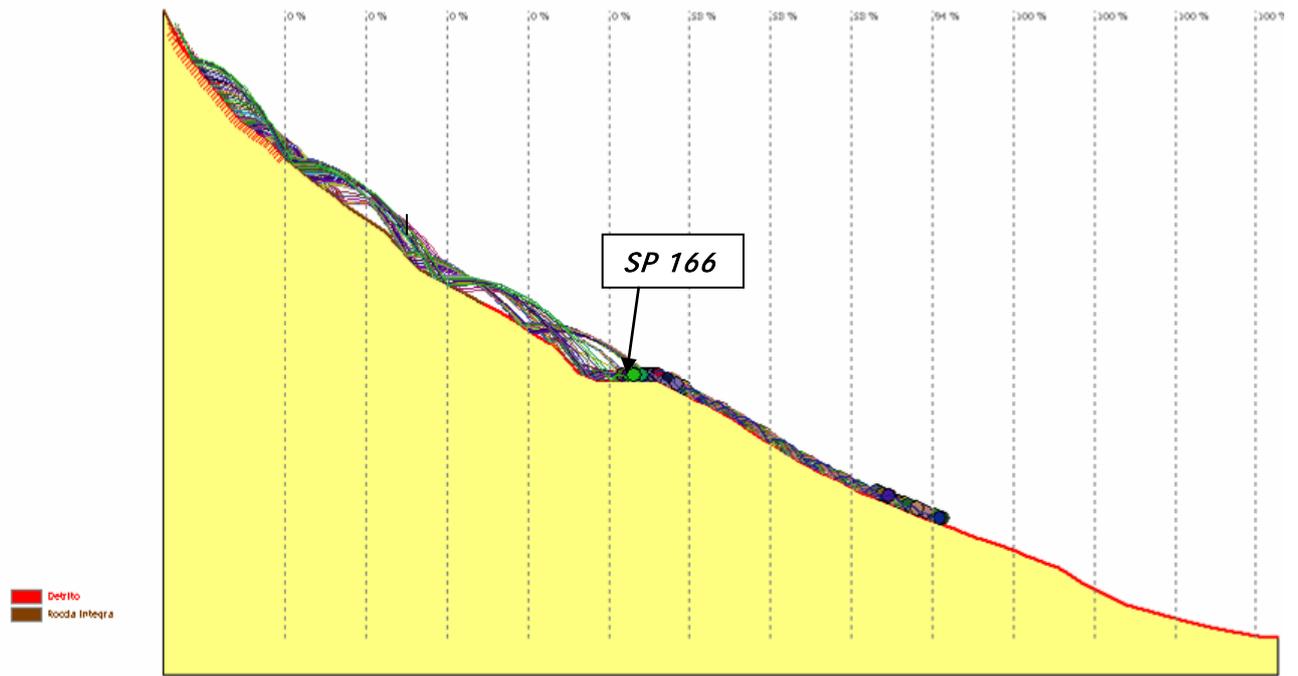
Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 1 in corrispondenza della SP 166.



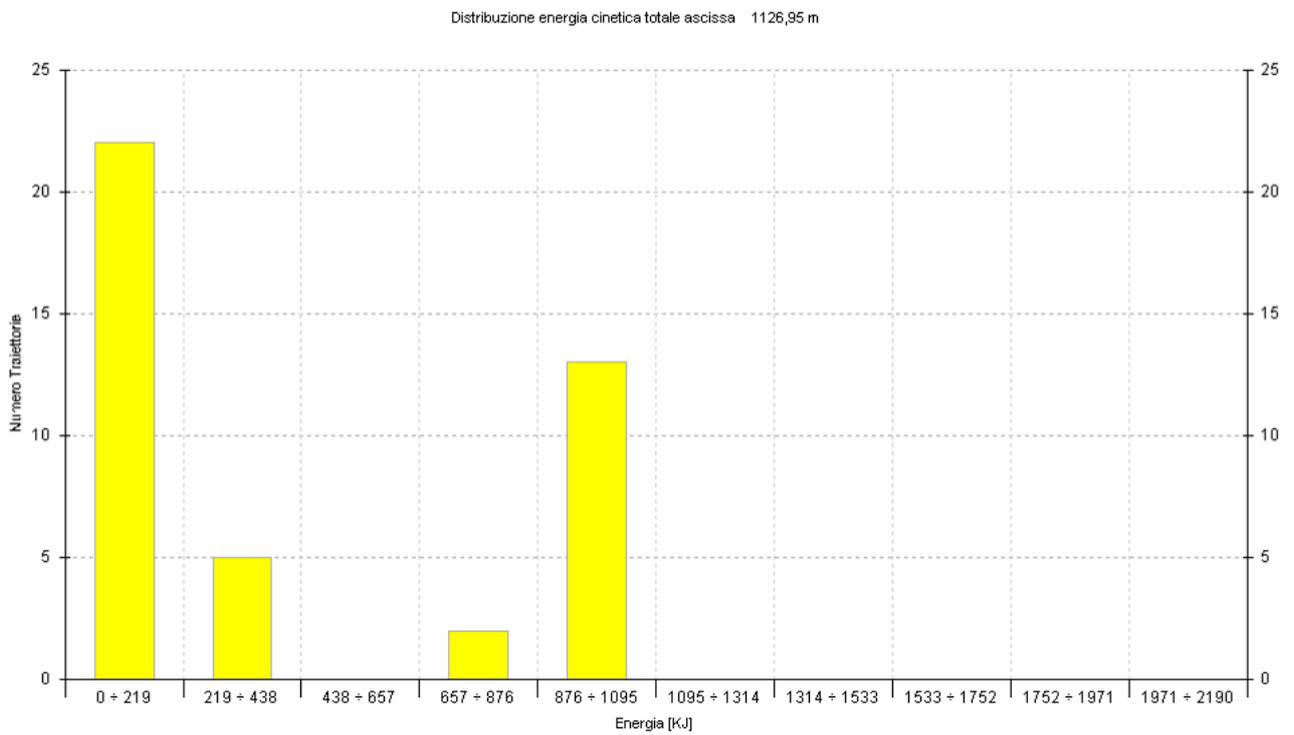
Sezione corrispondente al profilo 2 indicante la percentuale di masse intercettate in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 10 m



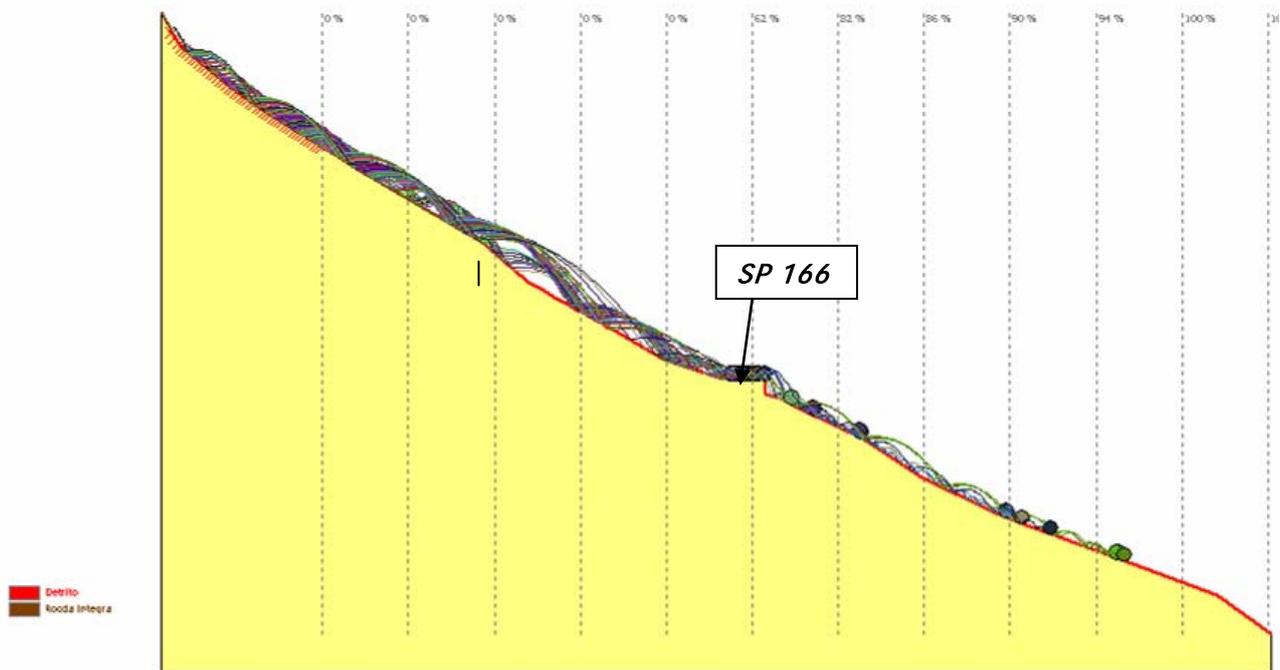
Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 2 in corrispondenza della SP 166.



Sezione corrispondente al profilo 3 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 10 m

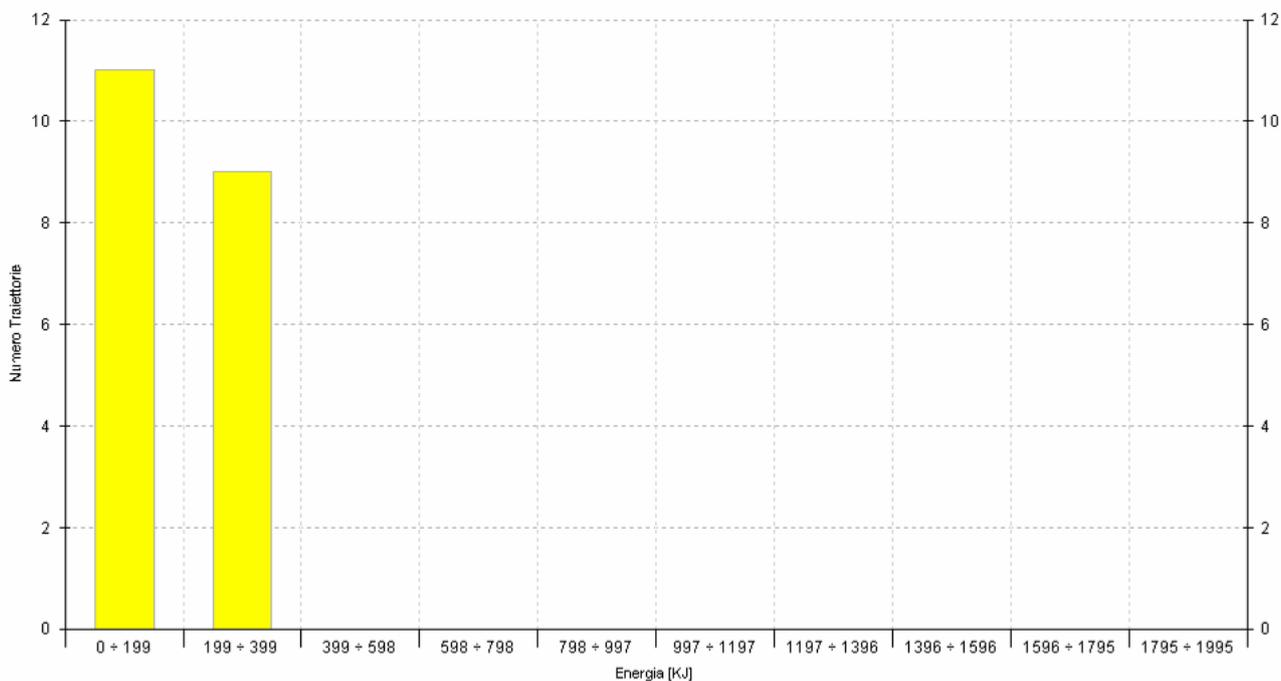


Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 3 in corrispondenza della SP 166.

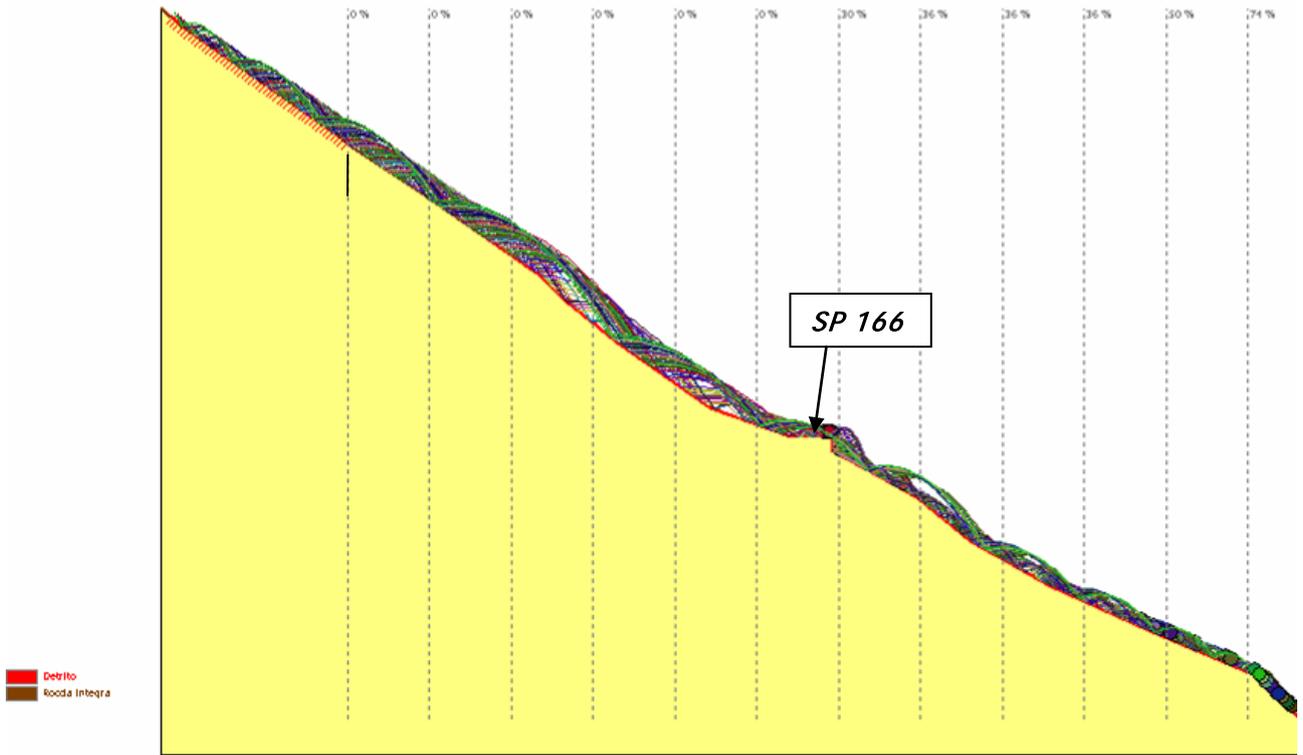


Sezione corrispondente al profilo 4 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 10 m

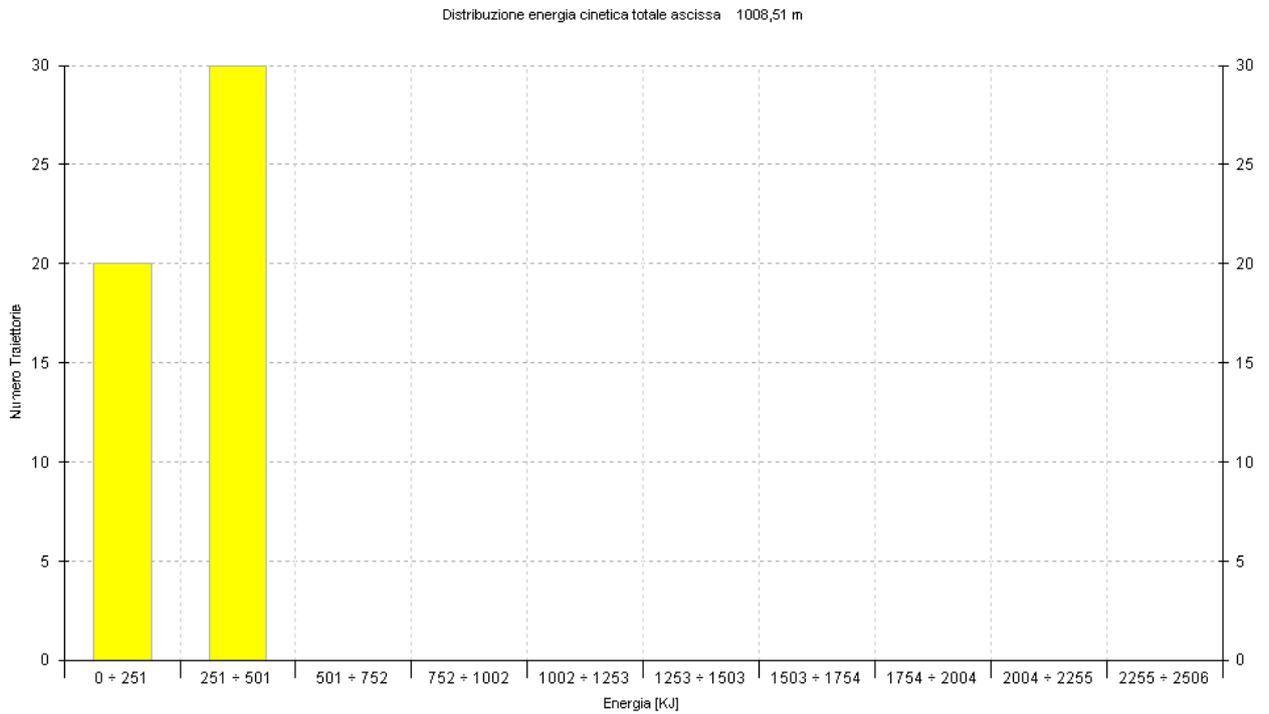
Distribuzione energia cinetica totale ascissa 926,37 m



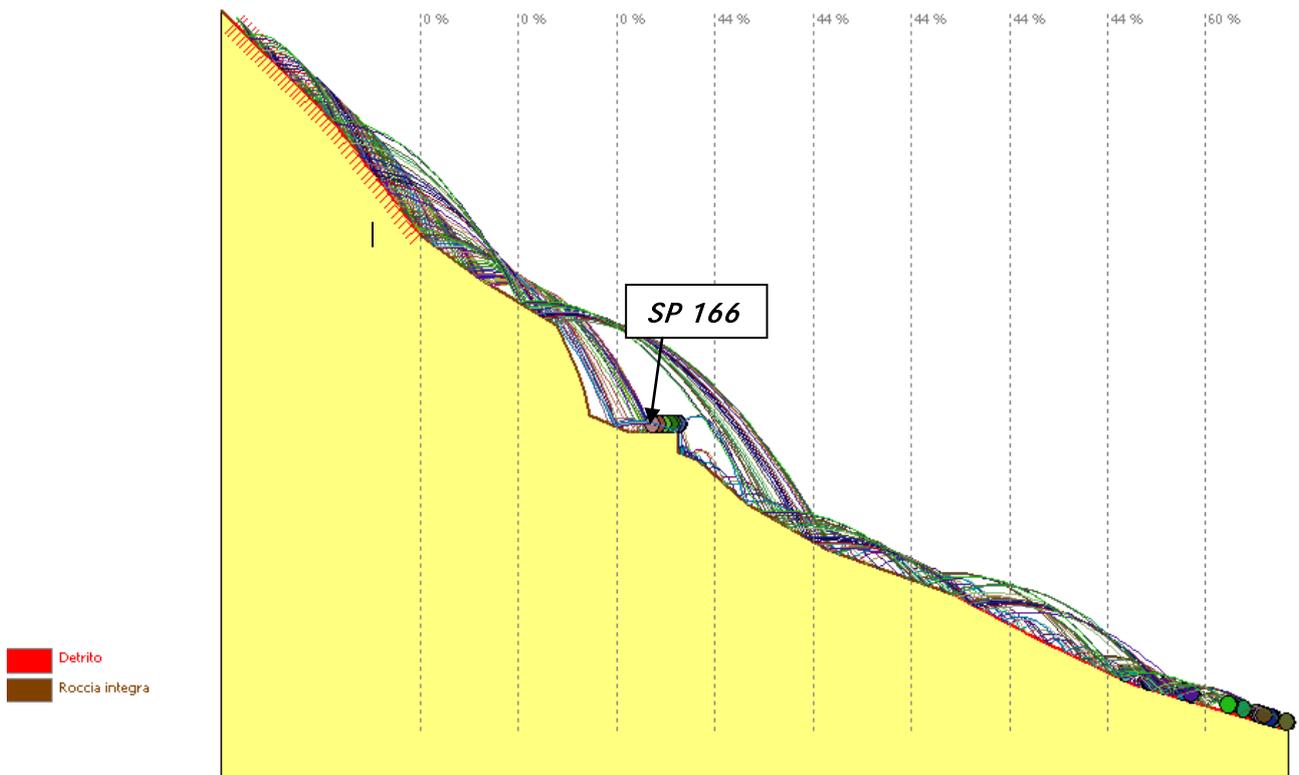
Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 4 in corrispondenza della SP 166.



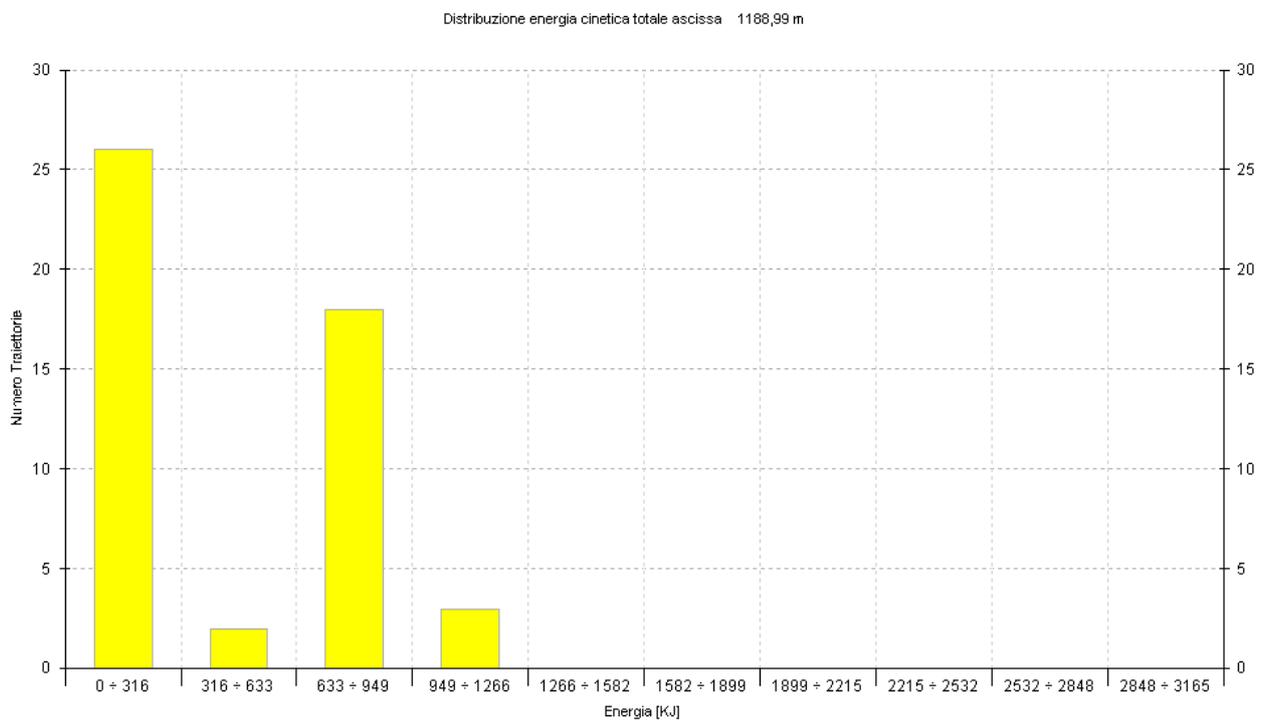
Sezione corrispondente al profilo 5 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 10 m



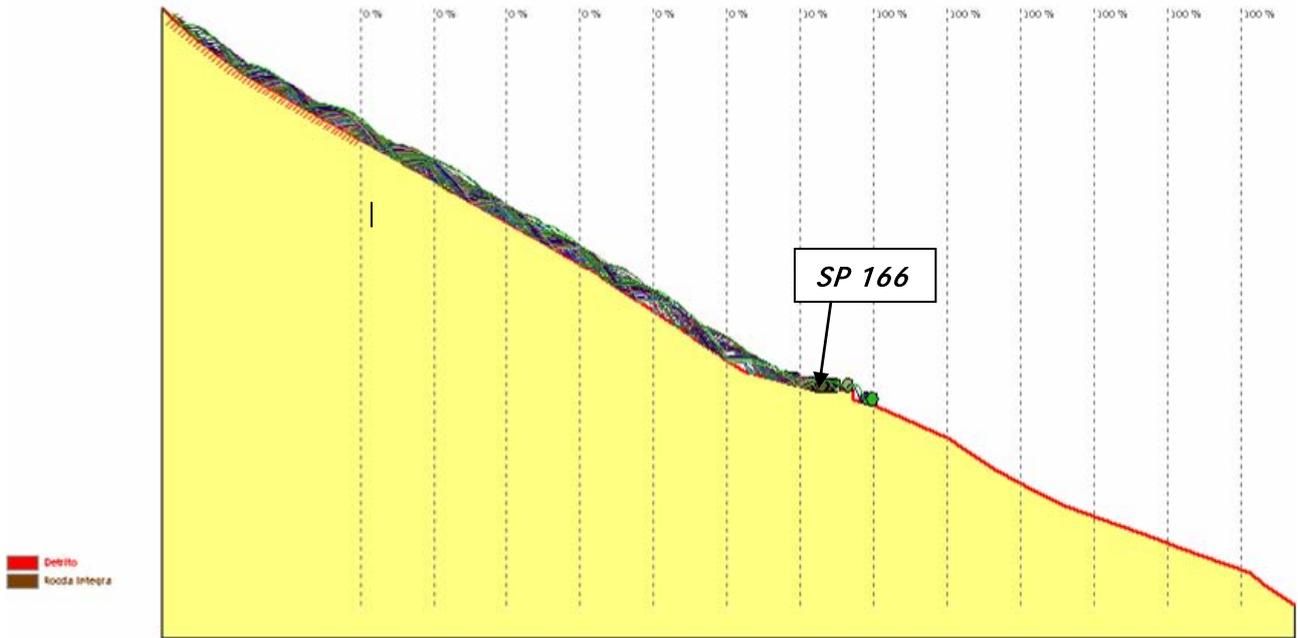
Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 5 in corrispondenza della SP 166.



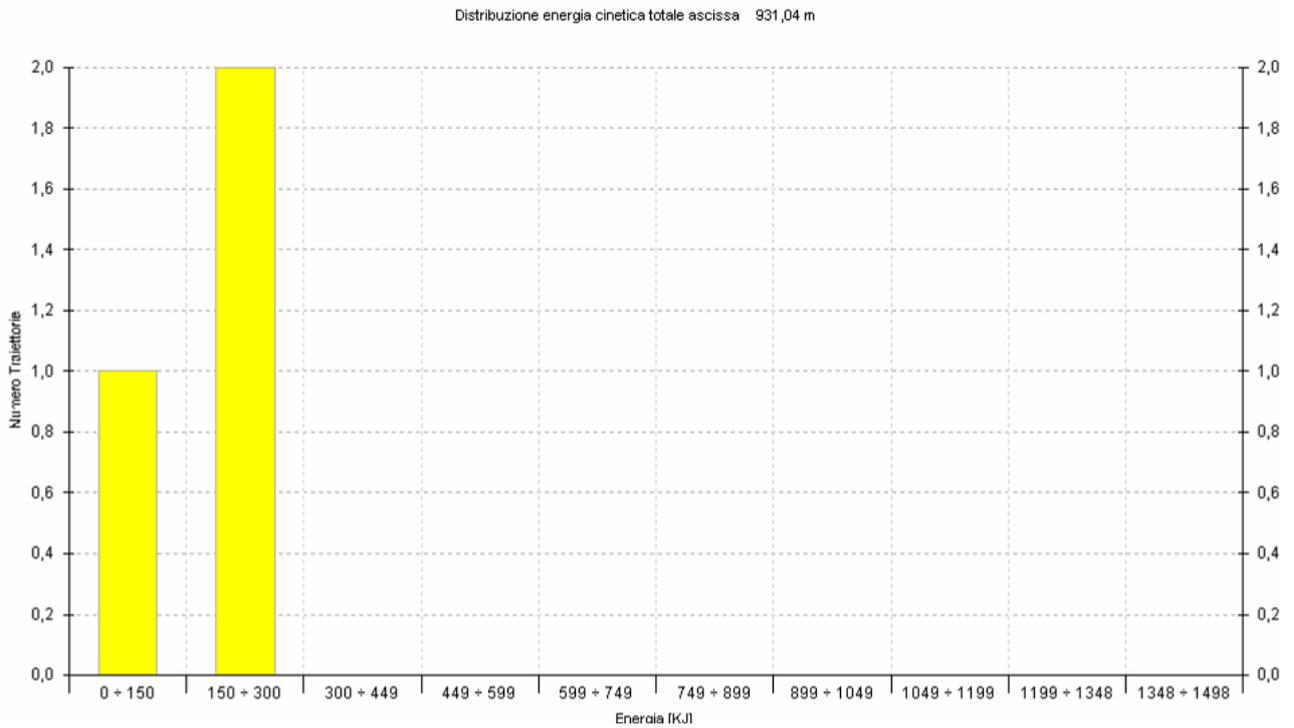
Sezione corrispondente al profilo 6 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 10 m



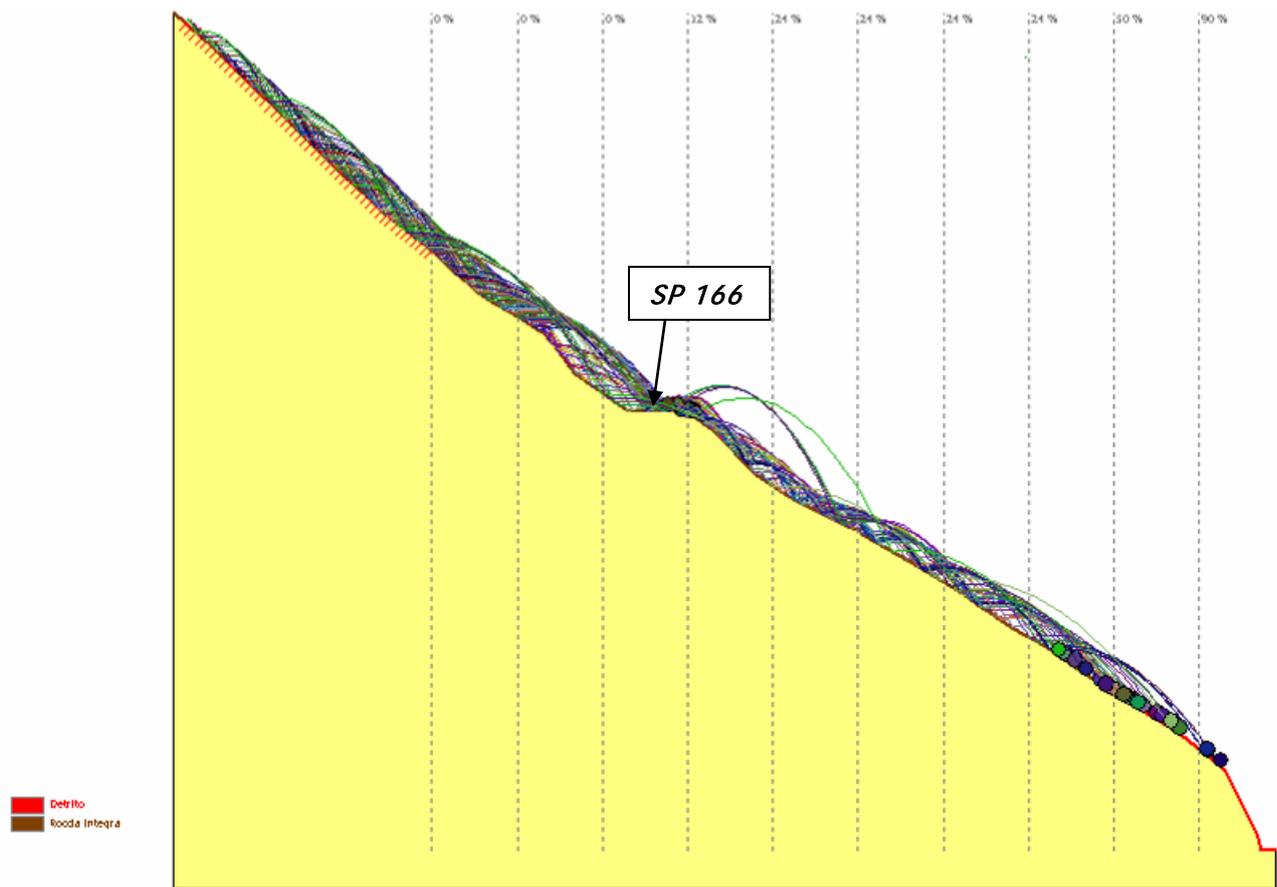
Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 6 in corrispondenza della SP 166.



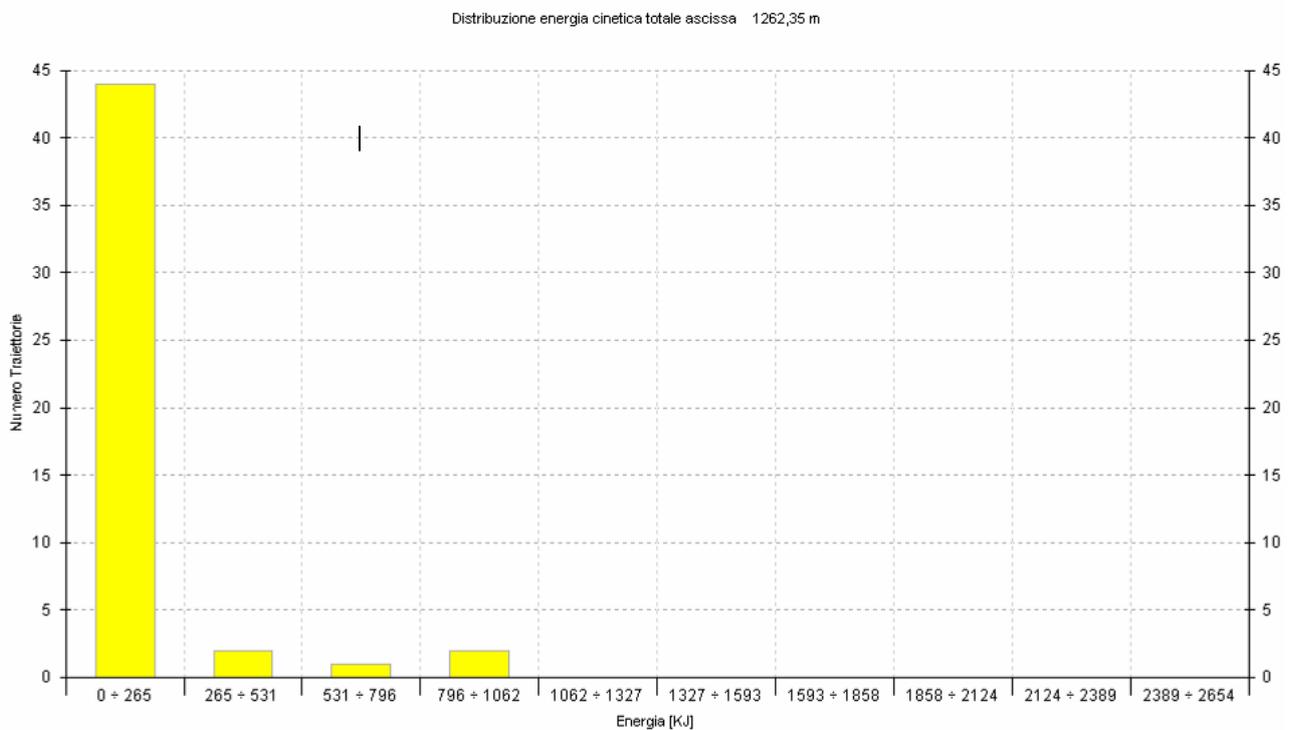
Sezione corrispondente al profilo 7 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 10 m



Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 7 in corrispondenza della SP 166.



Sezione corrispondente al profilo 8 indicante la percentuale di masse intercettate in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 10 m



Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 8 in corrispondenza della SP 166.

