STUDIO ASSOCIATO DI INGEGNERIA, GEOLOGIA e ARCHITETTURA

Ing. Mauro Marchiano, Ing. Riccardo Torri, Geol. Vittorio Vezzaro

Via Cavour n° 30 – 17051 Andora (SV) – tel. 0182.684363 – Email: stingeo@libero.it

COMUNE DI VENTIMIGLIA

CAVA BERGAMASCA 15 IM

PROGETTO DI VARIANTE AL PIANO DI COLTIVAZIONE APPROVATO CON DGR 2680/2006

ai sensi dell'art 28 comma 1bis della LR 5 aprile 2012 n° 12 e smi

COMPRENSIVO DEL PROGETTO DI ADEGUAMENTO IDRAULICO ALLA DGR 901 DEL 07.08.2015

SUAP Ventimiglia rif prat 00224540161-01082016-1439 prot 0002216 del 5 agosto 2016

RILIEVO GEOSTRUTTURALE MEDIANTE FOTOINTERPRETAZIONE GRADONI 10 e 12

Elaborato g.03

IL COMMITTENTE: Soc. F.lli CARMINATI S.p.A.

I TECNICI:

Geol. Vittorio Vezzaro

Ing. Mauro Marchiano

GeoStudioFG | 3DeFFe FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA – NUOVE TECNOLOGIE DI RILIEVO

RILIEVO GEOSTRUTTURALE – RELAZIONE DESCRITTIVA

Cava Bergamasca – gradoni 10 e 12

RICHIEDENTE:	**UBICAZIONE:**
F.lli Carminati S.p.A.	Ventimiglia, Fraz. Bevera

ALLEGATI FUORI TESTO	**DATA**	**REVISIONE**
0	Novembre 2015	0

I Professionisti

Dott. Giuseppe C. Guasco (O.R.G. Piemonte Sez. A N°570)	*Dott. Simone Fiussello (O.R.G. Piemonte Sez. B N° 4)*	*Dott. Damiano Vacha (Consulente in Geologia)*
	ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE – SIMONE FIUSSELLO GEOLOGO SEZ. B N. 4 – ALBO PROFESSIONALE	

STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG

Fraz. Cresto 68 – 10080 – San Colombano Belmonte (TO) – P.I. e C.F. 11060910012

Contatti: +393493742990 – Fax 0158970129 – geostudiofg@gmail.com – www.geostudiofg.com

3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA

Via Roma 149, 18038 Sanremo (IM) - (P.I. 09090920019 – P.I. 013 911 800 88) -Telefax +39 0184 533873- Cell. +39 349 3404757 (Simona Alauria)- Cell. +39 338 7577101 (Luca Amatori)- Mail: info@3deffe.com;

Comune di Ventimiglia (IM)

RILIEVO GEOSTRUTTURALE

Cava Bergamasca – gradoni 10 e 12



STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

1. INTRODUZIONE 4
2. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO 5
2.1. Progettazione del rilievo e specifiche di acquisizione. 5
2.2. Esecuzione del rilievo e segnalizzazione dei punti di appoggio 6
2.3. Orientamento del blocco fotogrammetrico 8
2.4. Prodotti del rilievo 10
3. RILIEVO GEOSTRUTTURALE 12
3.1. Rilievo orientazione dei sistemi di discontinuità 12
3.1.1. Gradone 10 14
3.1.2. Gradone 12 20
3.1.3. Rappresentazione globale dei dati estratti 24
3.2. Dati di spaziatura dei singoli sistemi 26
3.2.1. Gradone 10 26
3.2.2. Gradone 12 29
3.2.3. Analisi statistica globale dei dati di spaziatura 32
4. CONCLUSIONI 35

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra i rilievi fotogrammetrici e geostrutturali condotti su due fronti di scavo (gradoni 10 e 12) della Cava Bergamasca di proprietà della F.lli Carminati S.p.A., ubicata nel comune di Ventimiglia, in frazione Bevera.

Lo scopo del presente lavoro è quello di definire l'assetto geostrutturale dell'ammasso roccioso in oggetto al fine di determinare i sistemi di discontinuità presenti, la giacitura dei piani medi caratteristici e i valori di spaziatura di tali sistemi.

La ricostruzione della morfologia dei fronti di scavo è stata oggetto di rilievi fotogrammetrici integrati, applicati sia per via aerea mediante l'utilizzo di un drone (ottocottero NT4Contras-3DeFFe riconosciuto ENAC n°5300), sia da terra; ciò ha permesso la produzione di un DSM (Digital Surface Model) di estremo dettaglio dell'area indagata, necessario per le finalità dell'indagine. I fotogrammi acquisiti sono stati processati con l'utilizzo di software dedicati per la fotogrammetria.

Il rilievo della giacitura, della spaziatura e della lunghezza delle tracce delle discontinuità emergenti sul versante, è stato effettuato attraverso l'utilizzo di software di gestione di nuvole di punti, che permettono l'identificazione dell'orientazione e della posizione di superfici di discontinuità opportunamente selezionate, basandosi sui dati risultanti dal rilievo fotogrammetrico delle pareti.

Le operazioni di rilievo e acquisizione dei dati sono state effettuate nei giorni 5 e 6 novembre 2015.

Nel seguito sono illustrati i procedimenti di rilievo del modello digitale di superficie (DSM), della restituzione delle informazioni geomorfologiche e delle successive analisi.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

2. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO

2.1. Progettazione del rilievo e specifiche di acquisizione.

Obiettivo del rilievo era la produzione di un modello digitale del terreno, sufficientemente dettagliato da permettere l'individuazione delle diverse discontinuità superficiali dell'ammasso.

Dalle necessità emerse, si è ritenuto come più consono un approccio fotogrammetrico integrato: sono state eseguite strisciate fotogrammetriche, su ciascuno dei due fronti, sia da terra che mediante drone. Per la corretta messa in scala dei blocchi/modelli fotogrammetrici è stato necessario prevedere un rilievo topografico ausiliario che permettesse di ottenere un sufficiente numero di punti d'appoggio.

Le riprese fotogrammetriche sono finalizzate ad ottenere un modello digitale complessivo delle pareti rocciose avente spaziatura media tra i punti di circa 3÷4 cm, con precisione stimata in circa 1÷2 cm.

Per ottenere il grado di precisione richiesta, tenendo conto del ridotto spazio operativo nell'area antistante i fronti indagati, si è deciso per il drone di utilizzare uno schema di blocco simile a quelli utilizzati in un tradizionale volo aerofotogrammetrico per fini cartografici: una coppia di strisciate orizzontali a distanza circa costante dalla parete, sommate ad una strisciata di fotogrammi acquisiti alla base della stessa ad integrazione di punti ciechi e/diedri.

Per il gradone 10 ammettendo un ricoprimento longitudinale dei fotogrammi pari al 90%, e stimando una distanza dal fronte di circa 30 m per il drone e 3÷4 m per le riprese da terra si ottiene una GSD (Ground Sample Distance, risoluzione al suolo) di c.ca 7 mm. Per il gradone 12, mantenendo l'elevato ricoprimento dei fotogrammi e stimando una distanza di presa più ravvicinata tra il drone ed il fronte (c.ca 11 m), si raggiunge una GSD di c.ca 3 mm.

Si è deciso di utilizzare su drone un obbiettivo da 8.8 mm (24 equivalenti) montato su una fotocamera digitale Sony RX100M3 con risoluzione 4864 x 3648 pixel.

Per i fotogrammi da terra è stata utilizzata una fotocamera Canon EOS 70D con obbiettivo Sigma da 16 mm (25,6 equivalenti), risoluzione 5472 x 3648 pixel.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

2.2. Esecuzione del rilievo e segnalizzazione dei punti di appoggio

Per l'appoggio del blocco occorre misurare le coordinate di una serie di punti, distribuiti uniformemente su ciascun fronte, che devono poi essere collimati sui fotogrammi.

Sono stati utilizzati come punti di stazione per le misurazioni di questi bersagli in parete alcuni vertici della rete planoaltimetrica di inquadramento misurati con strumentazione GPS (riportati in tabella 1).

Complessivamente sono stati misurati, mediante stazione totale, 23 marker per il gradone 10 e 21 marker per il gradone 12 (vedi tabella 2).

Tabella 1 – Coordinate dei vertici della rete di inquadramento utilizzati come punti di stazione.

WGS84 - ETRF89							
GRADONE 10				GRADONE 12			
Nome	X/Est	Y/Nord	Z/Altitudine	**Nome**	X/Est	Y/Nord	Z/Altitudine
M2	384753.243	4852248	368.071	**O2**	384775.4	4852212.3	409.475
M3	384797.029	4852239	368.236	**O3**	384821	4852201.2	408.884
M4	384849.373	4852231	368.576				

Data la natura delle rocce e la diversa scala a cui appare l'oggetto nell'osservazione col teodolite e nelle immagini riprese, impiegare come marker particolari naturali quali fessure, buchi o altro è sempre difficile e non privo di errori di identificazione. Per ovviare a tale limitazione i marker in parete sono stati materializzati mediante tracciatura a vernice per le porzioni inferiori dei fronti, e servendosi del puntatore laser della stazione totale per i punti in cima alle pareti (fotografati e monografati per la successiva identificazione).

Il rilievo con stazione totale dei punti d'appoggio, dunque, permette la corretta messa in scala e il corretto orientamento con la verticale locale del blocco fotogrammetrico; dal rilievo con strumentazione GPS si ottiene poi l'orientamento del sistema al nord reticolato.

Le coordinate dei marker misurati sono state trasformate in un sistema cartesiano locale, così da poter lavorare in una geometria corretta per la compensazione dei fotogrammi, essendo le equazioni di collinearità espresse in un sistema cartesiano e non cartografico. Essendo la georeferenziazione effettuata con GPS, le quote originali sono ellissoidiche; quelle nel sistema di riferimento locale sono ovviamente convenzionali, non essendo stata applicata alcuna correzione sferica e neppure tenuta in conto l'ondulazione del geoide. Le coordinate cartesiane sono state ottenute applicando alle coordinate geodetiche (WGS84 - ETRF89) le seguenti gradi traslazioni:

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

E= -384942 N=-4852767 Z= -48

Tabella 2 – coordinate locali dei marker di appoggio misurati sui fronti.

GRADONE 10				GRADONE 12			
Nome	X/Est	Y/Nord	Z/Altitudine	**Nome**	X/Est	Y/Nord	Z/Altitudine
point 1	-227.985	-491.544	324.824	**point 101**	-210.779	-552.390	362.720
point 1b	-229.027	-495.394	328.489	**point 101b**	-209.333	-556.107	371.295
point 2	-230.275	-508.157	327.666	**point 102**	-200.095	-554.462	362.121
point 2b	-231.716	-504.912	336.864	**point 102b**	-202.394	-558.959	376.052
point 3	-211.825	-515.084	321.845	**point 103**	-188.900	-557.646	362.337
point 3b	-215.246	-516.887	331.365	**point 103b**	-193.957	-560.739	376.701
point 4	-199.428	-526.196	322.588	**point 104**	-175.934	-559.004	362.527
point 5	-189.563	-526.994	321.294	**point 104b**	-180.980	-561.200	377.815
point 5b	-191.115	-531.607	336.221	**point 105**	-163.501	-561.743	362.840
point 6	-171.093	-530.417	322.359	**point 105b**	-168.789	-565.726	378.898
point 7	-170.761	-530.503	322.37	**point 106**	-146.713	-564.984	362.260
point 8	-151.545	-534.566	322.451	**point 106b**	-148.781	-567.868	375.010
point 8b	-154.514	-538.331	338.552	**point 107**	-134.847	-567.830	362.594
point 9	-132.357	-538.285	322.159	**point 107b**	-129.787	-570.573	372.370
point 9b	-135.284	-541.48	336.118	**point 108**	-122.533	-571.163	364.298
point 10	-116.532	-541.68	322.256	**point 108b**	-118.670	-570.519	368.963
point 10b	-120.99	-546.057	337.477	**point 109**	-114.764	-570.168	363.637
point 11	-102.083	-544.399	322.408	**point 110**	-143.525	-565.980	362.563
point 11b	-99.806	-546.918	335.485	**point 111**	-161.333	-562.121	362.560
point 12	-78.361	-543.971	322.874	**point 112**	-175.819	-559.197	362.688
point 12 b	-74.675	-542.99	331.218	**point 113**	-188.817	-557.658	362.674
point 13	-64.263	-545.98	323.359				
point 13b	-60.417	-548.219	329.543				

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

2.3. Orientamento del blocco fotogrammetrico

Come già anticipato, per la restituzione del DSM, si è deciso in fase di progettazione di eseguire, per ogni fronte, tre strisciate a quote differenti con elevato ricoprimento.

Per eseguire l'orientamento delle strisciate fotogrammetriche sono stati utilizzati algoritmi automatici di *structure from motion*). Sotto il nome di *structure from motion* ricadono diverse metodologie e algoritmi che sono finalizzati a ricostruire automaticamente i parametri di orientamento e le caratteristiche geometriche dell'oggetto partendo da una sequenza di immagini.

Le prese sono state effettuate con la tecnica della sequenza, ovvero con scatti ravvicinati di una serie anche numerosa di fotogrammi; questa scelta facilita la ricerca automatica dei punti di legame e la loro collimazione su un gran numero di fotogrammi, con forti benefici per l'affidabilità del blocco.

Per il gradone 10 il blocco (composto dalle due strisciate aeree e da quella acquisita a terra) è risultato essere composto da 97 fotogrammi. Analogamente, per il gradone 12 il blocco è risultato essere di 106 fotogrammi. I punti di legame individuati sono risultati rispettivamente 679852 per la serie di immagini del gradone 10 e 1079223 per il gradone 12.

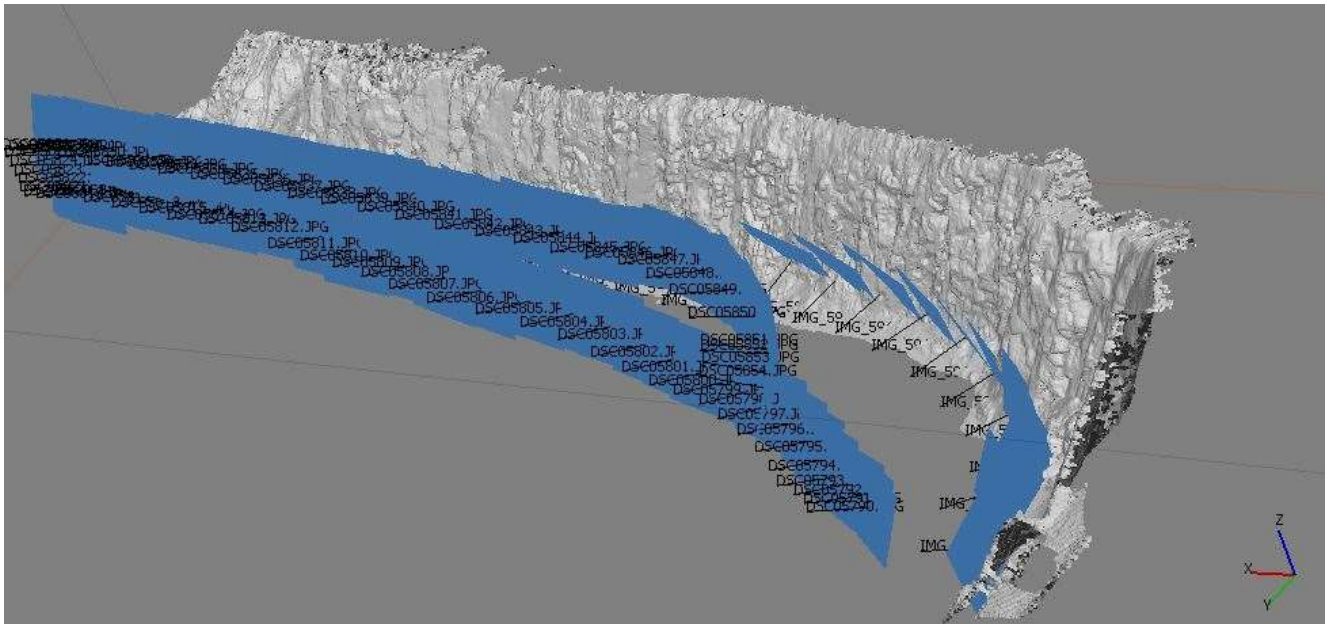


Figura 1 – orientamento del blocco fotogrammetrico, gradone 10.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

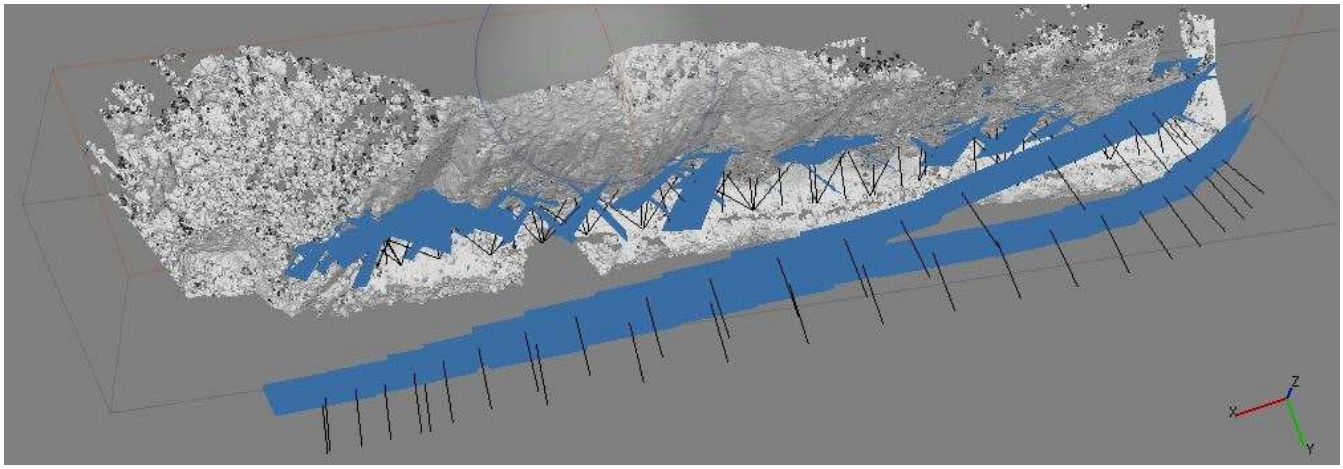


Figura 2 – orientamento del blocco fotogrammetrico, gradone 12.

Una volta orientato relativamente (cioè in un sistema arbitrario) ciascun blocco tramite gli algoritmi di *structure from motion*, si è proceduto manualmente a collimare i marker precedentemente misurati, riportando le prese in un sistema di riferimento (locale traslato rispetto a quello rete di 384942 m in direzione Est, di 4852767 m in direzione Nord e di 48 m in quota) in scala reale e con l'asse Z orientato come la verticale locale in prossimità dei gradoni.

Per il gradone 10 i residui delle equazioni di collinearità sono per la maggior parte dei punti estremamente contenuti (0.6 pixel) pur essendo collimati su un numero elevato di fotogrammi differenti. Per il gradone 12 i residui sono ancora migliori (0.45 pixel).

Un discorso a parte meritano i punti d'appoggio: la notevole differenza prospettica fra la stazione topografica ai piedi della falesia e le posizioni di scatto dei fotogrammi fa sì che i punti si presentino molto diversamente al collimatore se visti attraverso il cannocchiale del teodolite o sull'immagine digitale; i punti utilizzati presentano residui nelle equazioni di collinearità comunque pienamente accettabili, corrispondenti a 1.38 pixel per il gradone 10 e 1.5 pixel per il gradone 12.

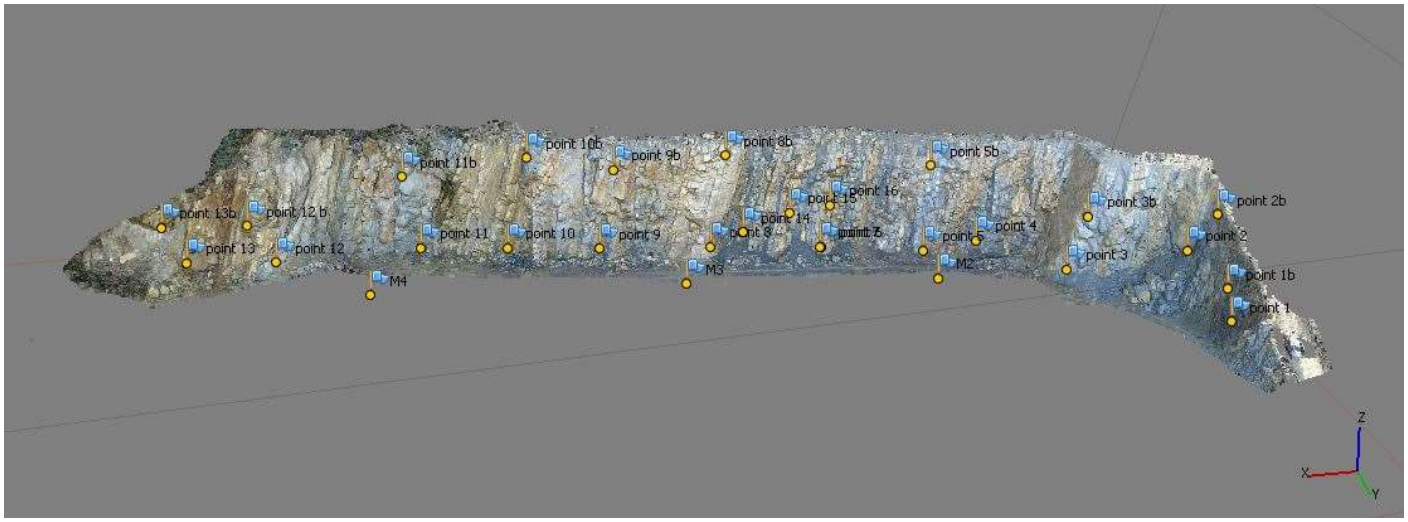


Figura 3 – distribuzione dei marker d'appoggio, gradone 10.

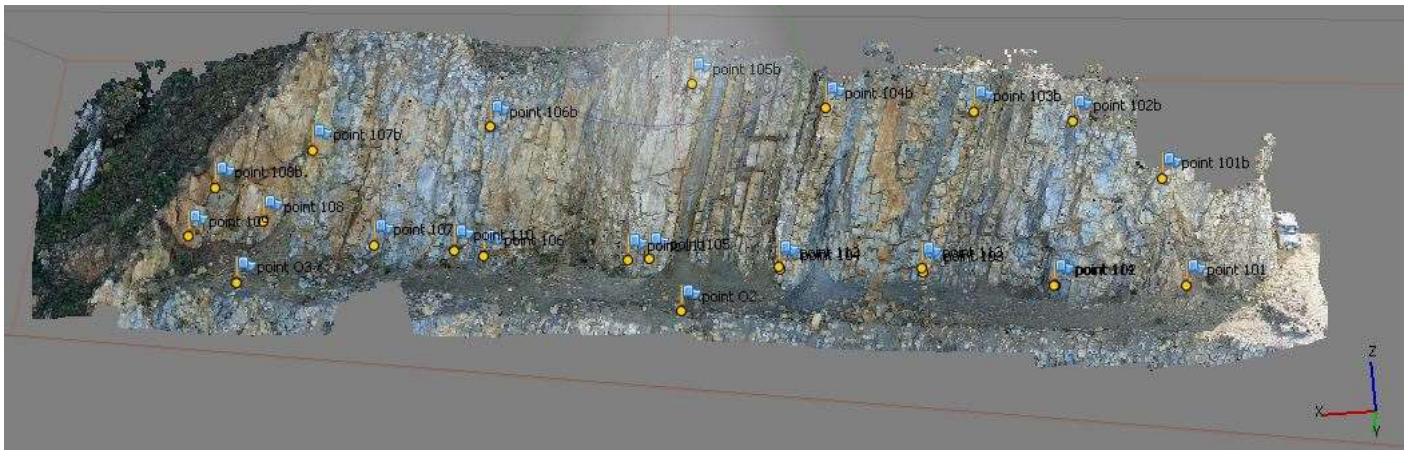


Figura 4 – distribuzione dei marker d'appoggio, gradone 12.

2.4. Prodotti del rilievo

Al termine delle operazioni di orientamento dei blocchi fotogrammetrici si è proceduto alla ricostruzione dei modelli digitali di superficie (DSM) dei due fronti, in particolare alla generazione delle nuvole di punti dense. Al termine delle operazioni di filtraggio dei dati ed eliminazione delle porzioni indesiderate sono state prodotte due diverse nuvole di punti, composte rispettivamente da 8.8 milioni di punti (gradone 10) e 12 milioni di punti (gradone 12).

I dati ottenuti dalla restituzione fotogrammetrica sono stati opportunamente trattati per poter essere utilizzati nelle successive fasi di analisi. In particolare, il software impiegato per determinare la giacitura e la distribuzione spaziale delle principali famiglie di discontinuità, opera direttamente le opzioni di segmentazione sulla nuvola di punti; non è quindi richiesta una strutturazione della point cloud (ad esempio tramite triangolazione) ed è possibile utilizzare fonti di dati costituite anche da diverse decine di milioni di punti; ciononostante ogni nuvola ottenuta è stata suddivisa in porzioni più limitate per consentire una miglior

performance del software e per dettagliare maggiormente i fronti in coltivazione che sono caratterizzati da una notevole estensione. In particolare il modelle del gradone 10 è stato suddiviso in 4 spezzoni, nominati rispettivamente "porzione 1-2-3-4" procedendo da W verso E. Il gradone 12 è stato analogamente suddiviso nelle "porzioni 1 e 2".

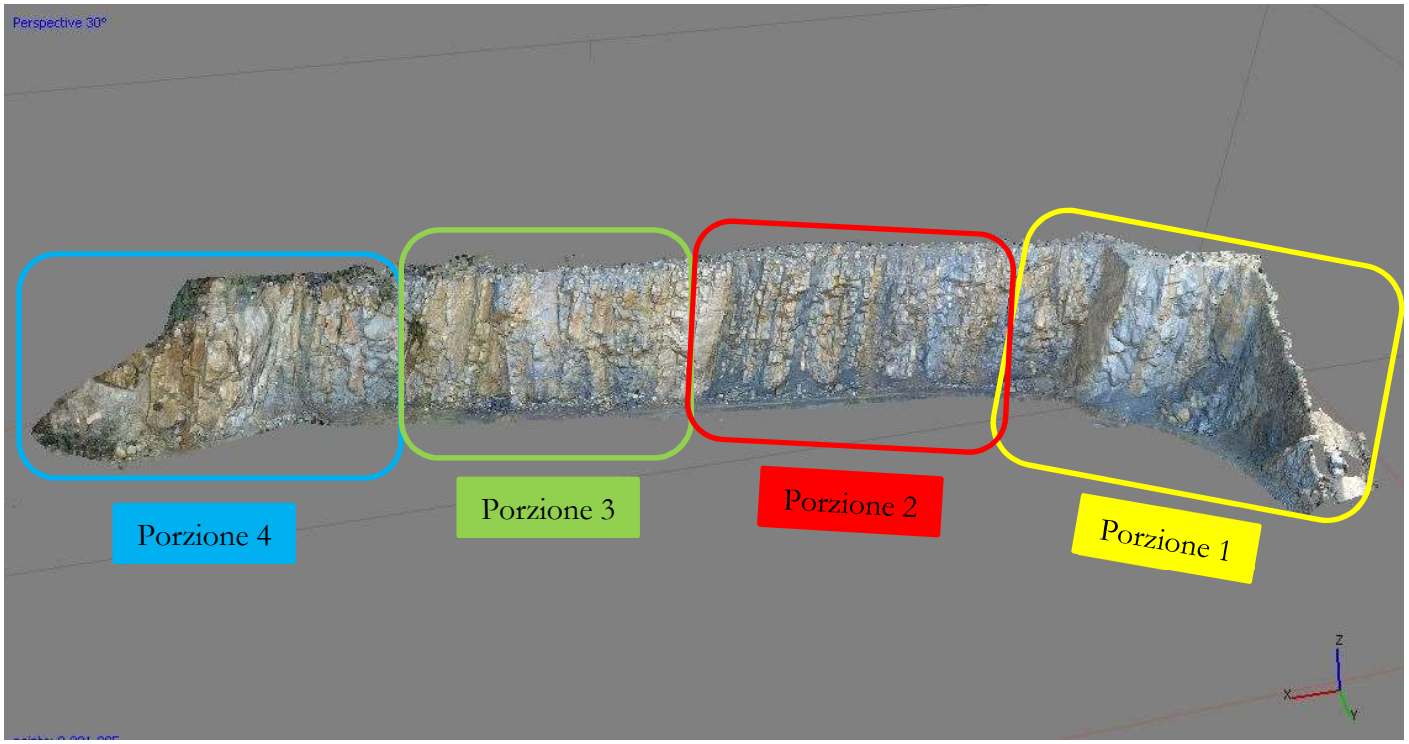


Figura 5 – Suddivisione in porzioni del gradone 10

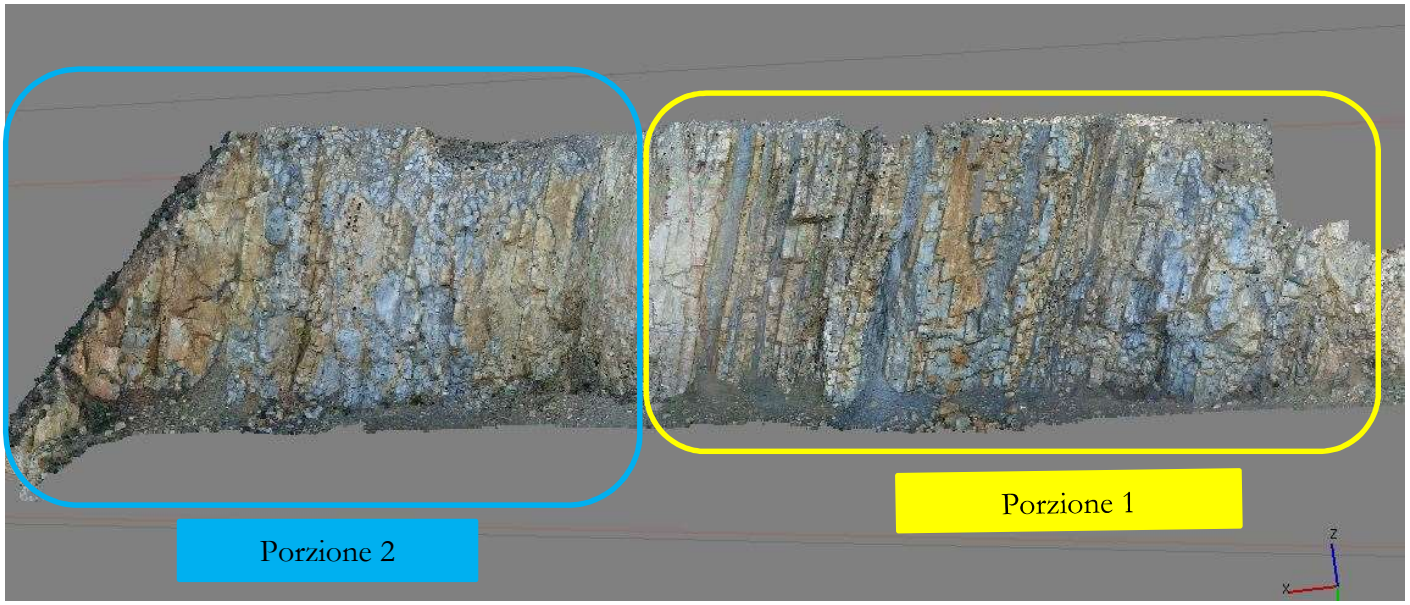


Figura 6 - Suddivisione in porzioni del gradone 12.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

3. RILIEVO GEOSTRUTTURALE

3.1. Rilievo orientazione dei sistemi di discontinuità

Il rilievo fotogrammetrico realizzato ha permesso la restituzione di modelli digitali dei fronti in esame (DSM) costituiti da due nuvole, poi suddivise in porzioni, a cui appartengono punti orientati nello spazio (coordinate 3D), rispetto ad un sistema di riferimento x,y,z. Il programma di interrogazione del DSM permette di selezionare, direttamente sulla nuvola di punti, porzioni di fronte più o meno estese, all'interno delle quali si evidenziano superfici di discontinuità emergenti lungo le pareti dello stesso. La selezione dell'area d'interesse corrisponde, in realtà, alla selezione della corrispondente porzione di DSM e, quindi, di un certo numero di punti orientati appartenenti alla superficie selezionata.

Il programma attraverso opportuni processi di segmentazione geometrica del DSM determina il piano che meglio approssima la geometria dell'area selezionata e la corrispondente equazione caratteristica. Le equazioni determinate permettono di definire l'orientazione, nonché le coordinate del punto baricentrico del piano individuato, rispetto al sistema di riferimento del DSM.

I dati di giacitura dei piani vengono espressi attraverso la definizione di due angoli caratteristici: l'inclinazione (DIP) e la direzione di immersione (DIP DIRECTION) della retta di massima pendenza del piano, considerata con verso diretto in basso. Secondo tale convenzione l'angolo di inclinazione è quello compreso tra la retta di massima pendenza ed il piano orizzontale, mentre la direzione di immersione è definita come l'angolo tra il Nord geografico e la proiezione sul piano orizzontale della retta di massima pendenza, con valori positivi se letti in senso orario.

Per ottenere tali dati è necessario che il DSM sia opportunamente orientato rispetto al sistema di riferimento geografico: in particolare il programma è impostato per ottenere valori di dip e dip direction da nuvole di punti le cui coordinate sono rappresentate in un sistema di riferimento destrorso con asse x orientato verso Est, asse y verso Nord ed asse Z coincidente con la direzione verticale.

L'utilizzo del software permette altresì di stimare anche altre caratteristiche geometriche quali, ad esempio la distanza tra tracce delle discontinuità.

Il rilievo della parete in oggetto ha riguardato l'acquisizione e la trattazione statistica di:

- dati di giacitura di discontinuità emergenti in parete, individuazione dei sistemi presenti e dei corrispondenti piani medi;
- dati di spaziatura dei singoli sistemi;

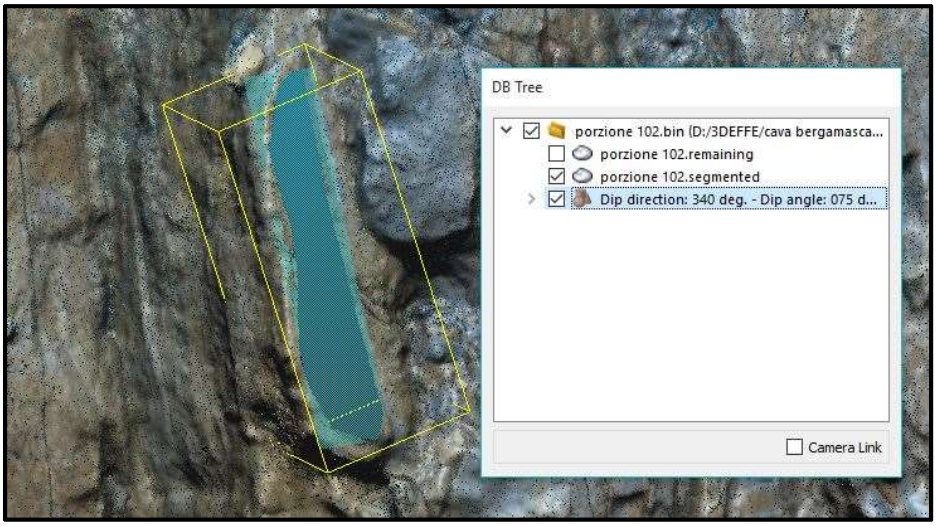


Figura 7- esempio di misurazione di un piano.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

3.1.1. Gradone 10

Il rilievo ha riguardato complessivamente la determinazione degli angoli di orientazione di 471 piani di discontinuità. Selezionando l'intero fronte e definendo il piano caratteristico ad esso associato è stato possibile valutare l'orientazione media dell'affioramento (Figura 8) che risulta avere una inclinazione pari a 10/70.

I dati di giacitura delle discontinuità emergenti ottenuti sono stati trattati statisticamente in modo da individuare quanti e quali sistemi interessano il fronte oggetto d'analisi. A tal fine, i valori di giacitura ottenuti, sono stati rappresentati su reticolo stereografico utilizzando una proiezione sferica equiarea nell'emisfero inferiore. Nella Figura 8 sono riportate, sul reticolo stereografico, le tracce delle rette normali ai piani (poli), mentre in Figura 9 sono illustrate le curve di isofrequenza dei poli, ottenute senza considerare la correzione di Terzaghi, non necessaria dato che il rilievo non viene effettuato lungo stendimenti.

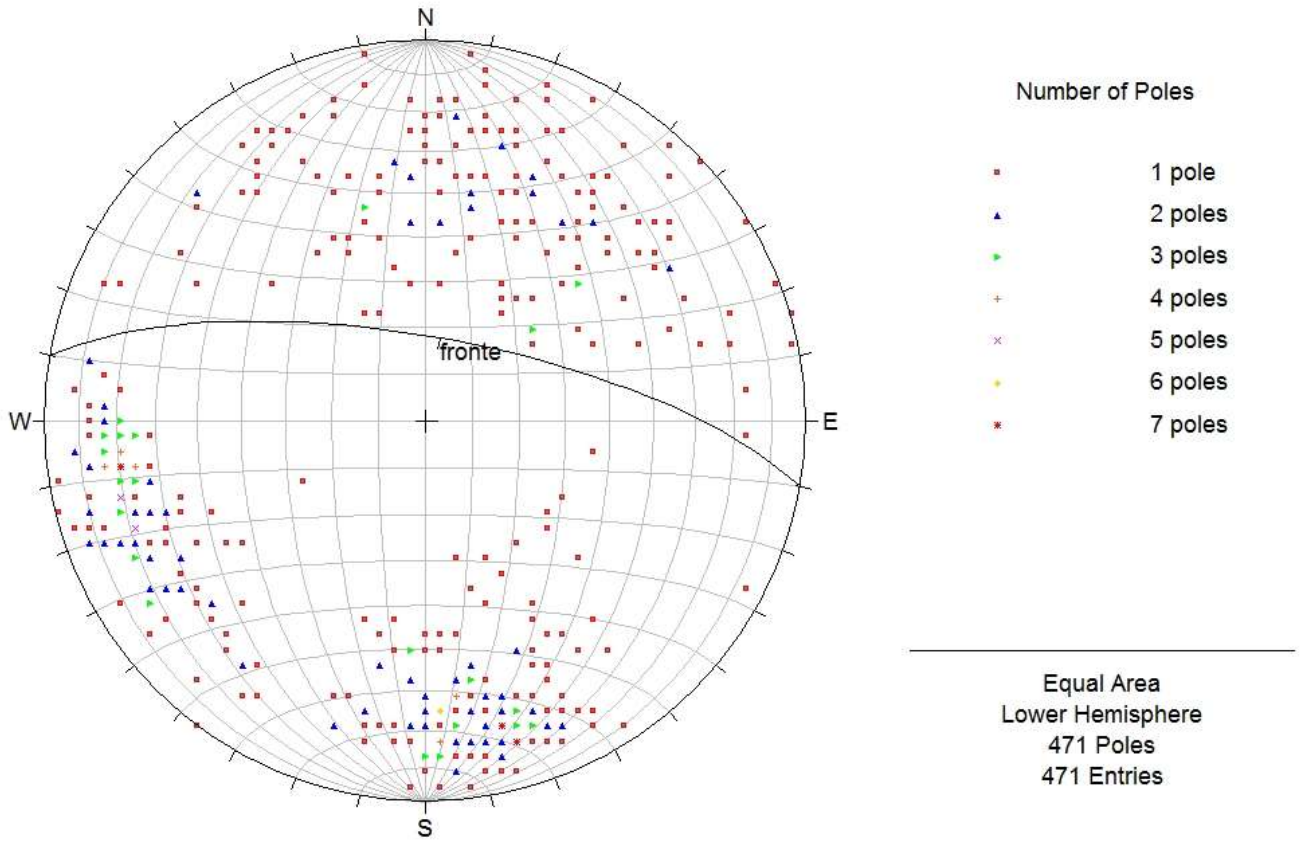


Figura 8 - Proiezione stereografica dei poli dei piani rilevati (proiezione equiarea emisfero inferiore) e rappresentazione dell'orientazione media del fronte.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

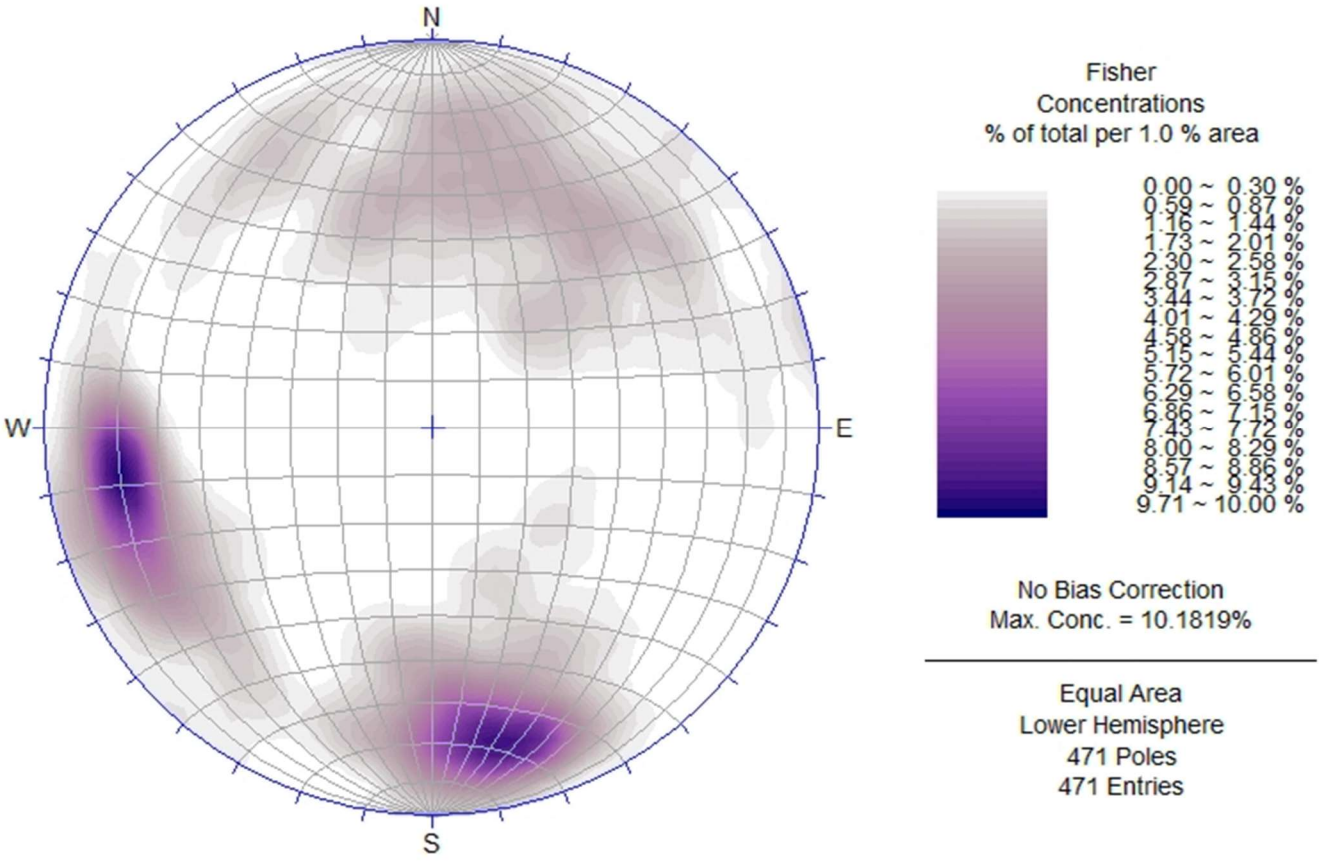


Figura 9 - Curve di isofrequenza, gradone 10.

A seguire sono rappresentati i valori di giacitura ottenuti considerando le singole porzioni del gradone 10, su reticolo stereografico utilizzando una proiezione sferica equiarea nell'emisfero inferiore, come curve di isofrequenza dei poli (sempre senza considerare la correzione di Terzaghi, non necessaria).

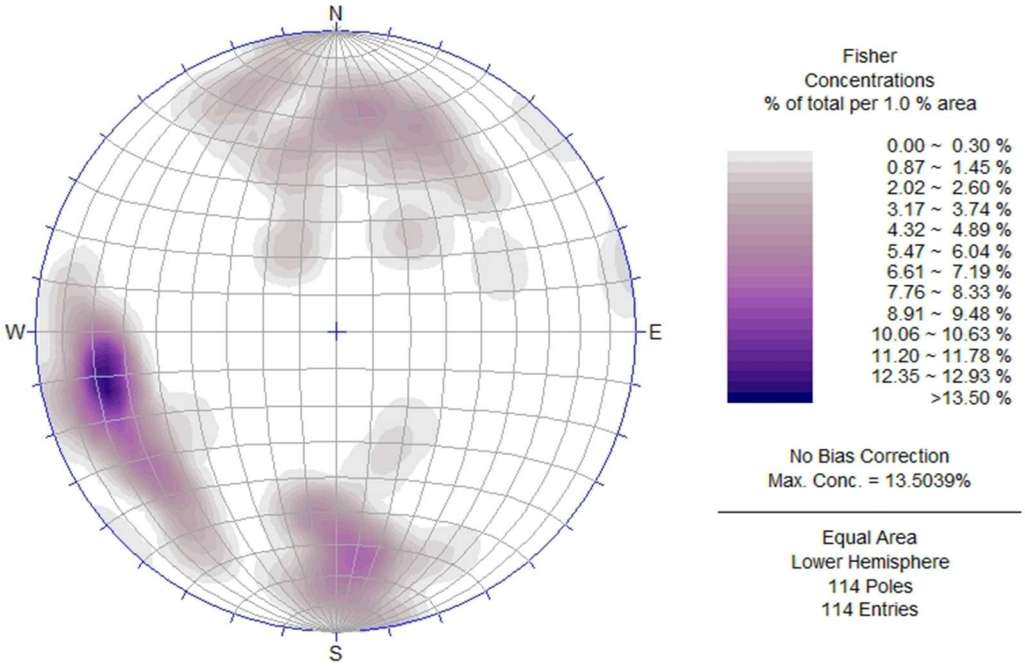


Figura 10 - Curve di isofrequenza, porzione 1

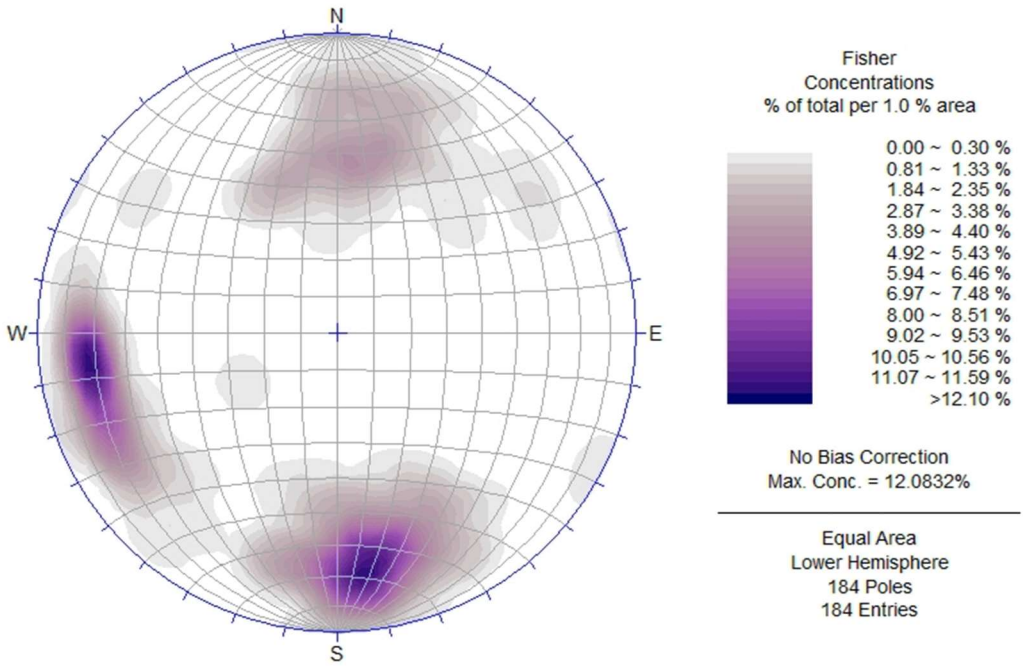


Figura 11 - Curve di isofrequenza, porzione 2

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

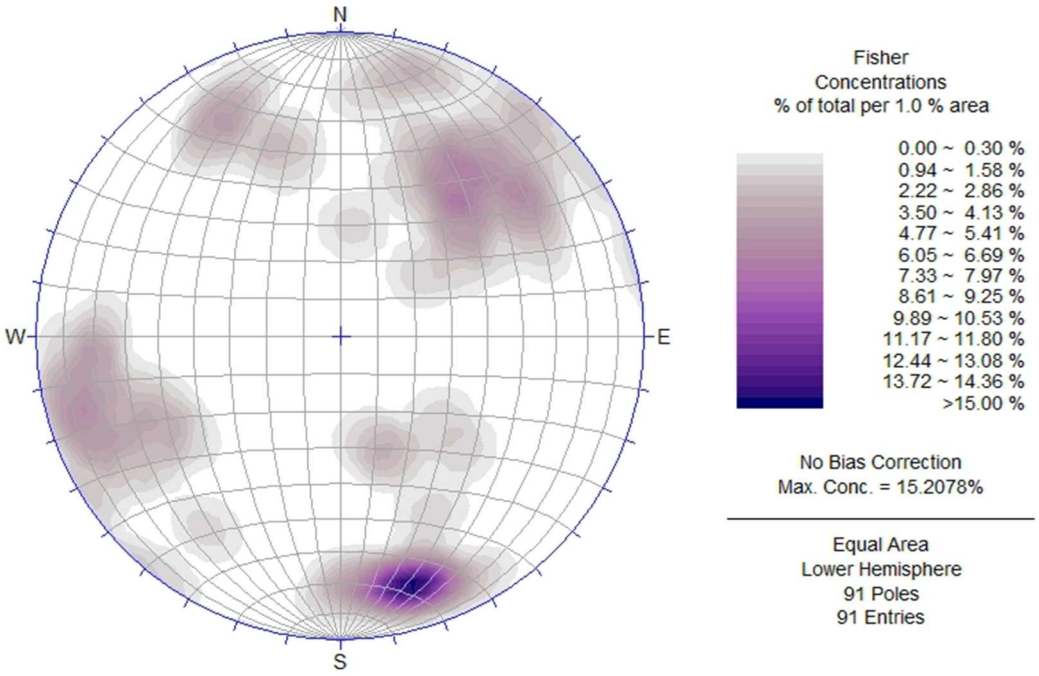


Figura 12 - Curve di isofrequenza, porzione 3

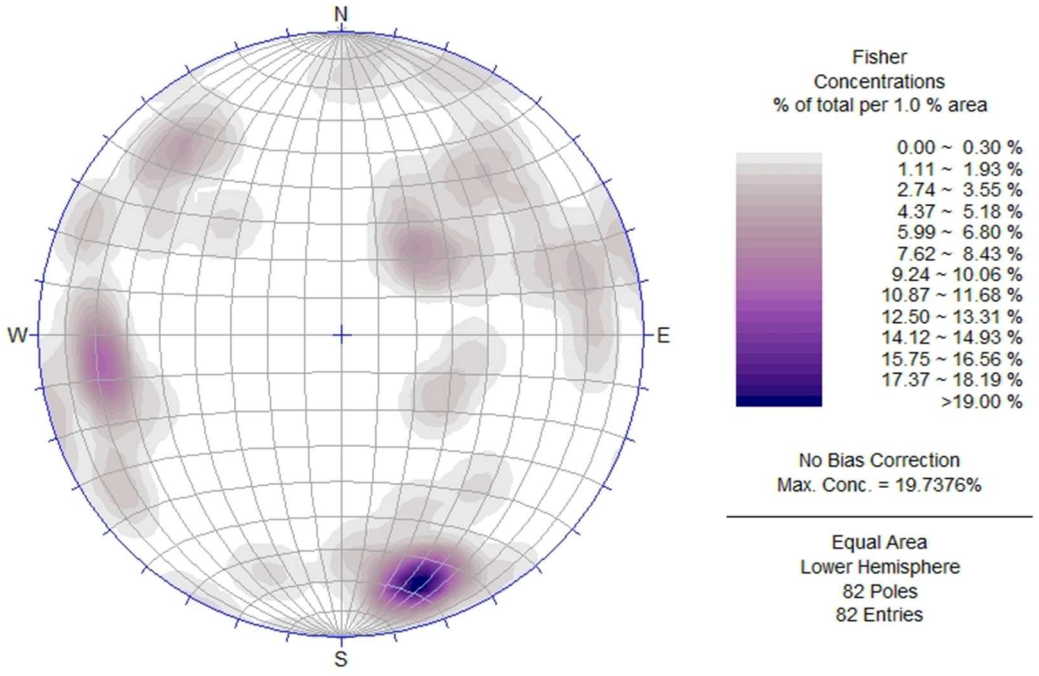


Figura 13 - Curve di isofrequenza, porzione 4

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

3.1.1.1. Sintesi dei dati

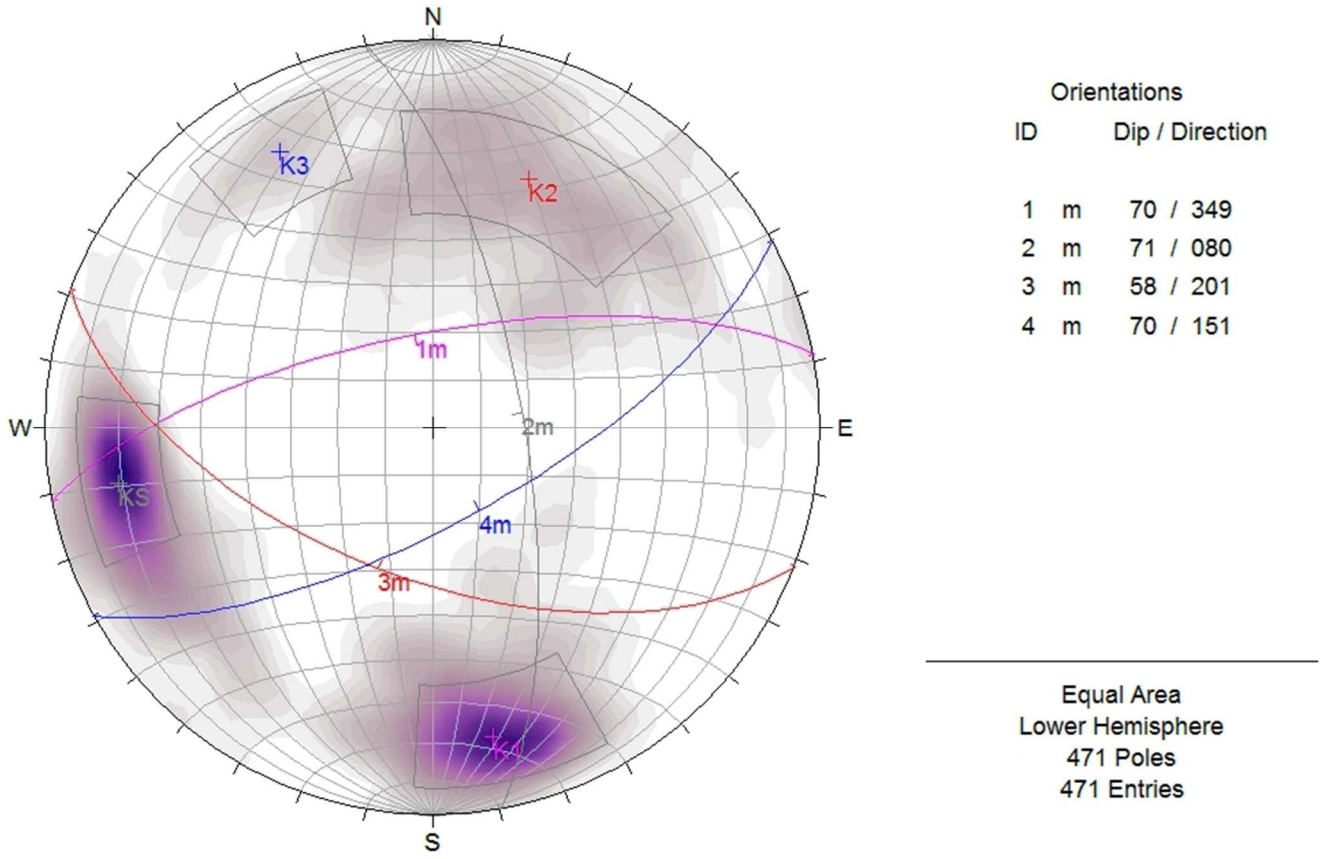


Figura 14 - Poli dei piani caratteristici dei sistemi individuati, gradone 10.

Sono stati individuati quattro sistemi principali (dip direction/dip) (Figura 14): il sistema Ks, immergente mediamente ad E e ad alto angolo, rappresentante la stratificazione, con giacitura media pari a 80/71; il sistema K1, avente giacitura media pari a 349/70, il sistema K2, con giacitura media 201/58 ed il sistema K3 con orientazione media pari a 151/70.

Il sistema K1 è mediamente orientato come il fronte ed è quello lungo il quale si imposta il cinematismo di scivolamento planare caratteristico dei fenomeni di instabilità più diffusi lungo l'affioramento. Il sistema Ks è quello che delimita lateralmente i blocchi ed i sistemi K2 e K3 sono responsabili dello svincolo superiore degli stessi. I sistemi K2 e K3 mostrano una certa variabilità lungo l'intera estensione del fronte in esame, mentre i sistemi Ks e K1 presentano una giacitura caratteristica più definita.

Sono presenti anche piani con giacitura casuale non riconducibile ai sistemi individuati; dall'analisi delle immagini inoltre emerge la possibilità dell'esistenza di sistemi non affioranti come superfici, per i quali non è stato possibile determinare l'orientazione dei piani associati.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

3.1.2. Gradone 12

Il rilievo ha riguardato complessivamente la determinazione degli angoli di orientazione di 178 piani di discontinuità. Selezionando l'intero fronte e definendo il piano caratteristico ad esso associato è stato possibile valutare l'orientazione media dell'affioramento (Figura 15) che risulta avere una inclinazione pari a 10/70 (dip direction/dip).

I dati di giacitura delle discontinuità emergenti ottenuti sono stati trattati statisticamente in modo da individuare quanti e quali sistemi interessano il fronte oggetto d'analisi. A tal fine, i valori di giacitura ottenuti, sono stati rappresentati su reticolo stereografico utilizzando una proiezione sferica equiarea nell'emisfero inferiore. Nella Figura 15 sono riportate, sul reticolo stereografico, le tracce delle rette normali ai piani (poli), mentre in Figura 16 sono illustrate le curve di isofrequenza dei poli, ottenute senza considerare la correzione di Terzaghi, non necessaria dato che il rilievo non viene effettuato lungo stendimenti.

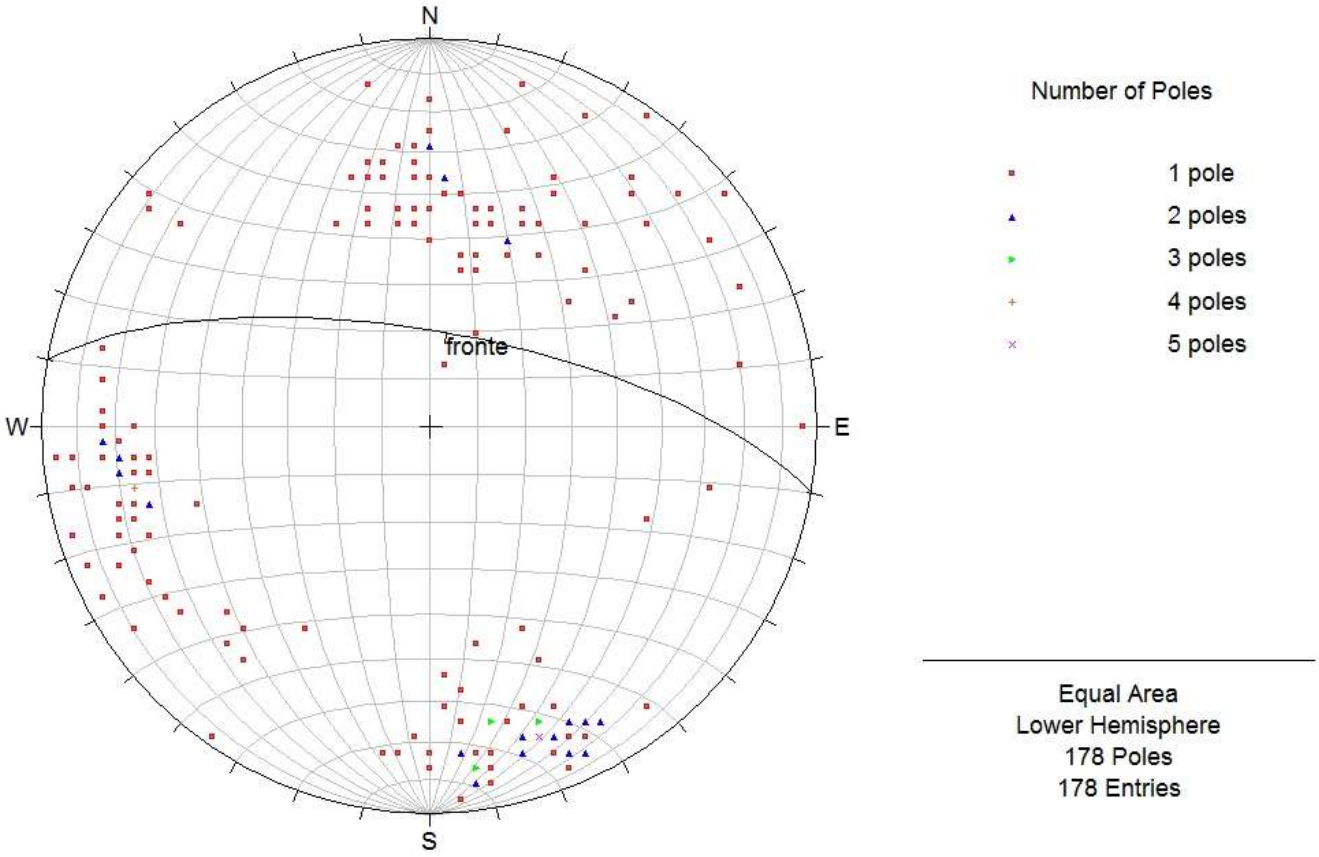


Figura 15 - Proiezione stereografica dei poli dei piani rilevati (proiezione equiarea emisfero inferiore) e rappresentazione dell'orientazione media del fronte.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

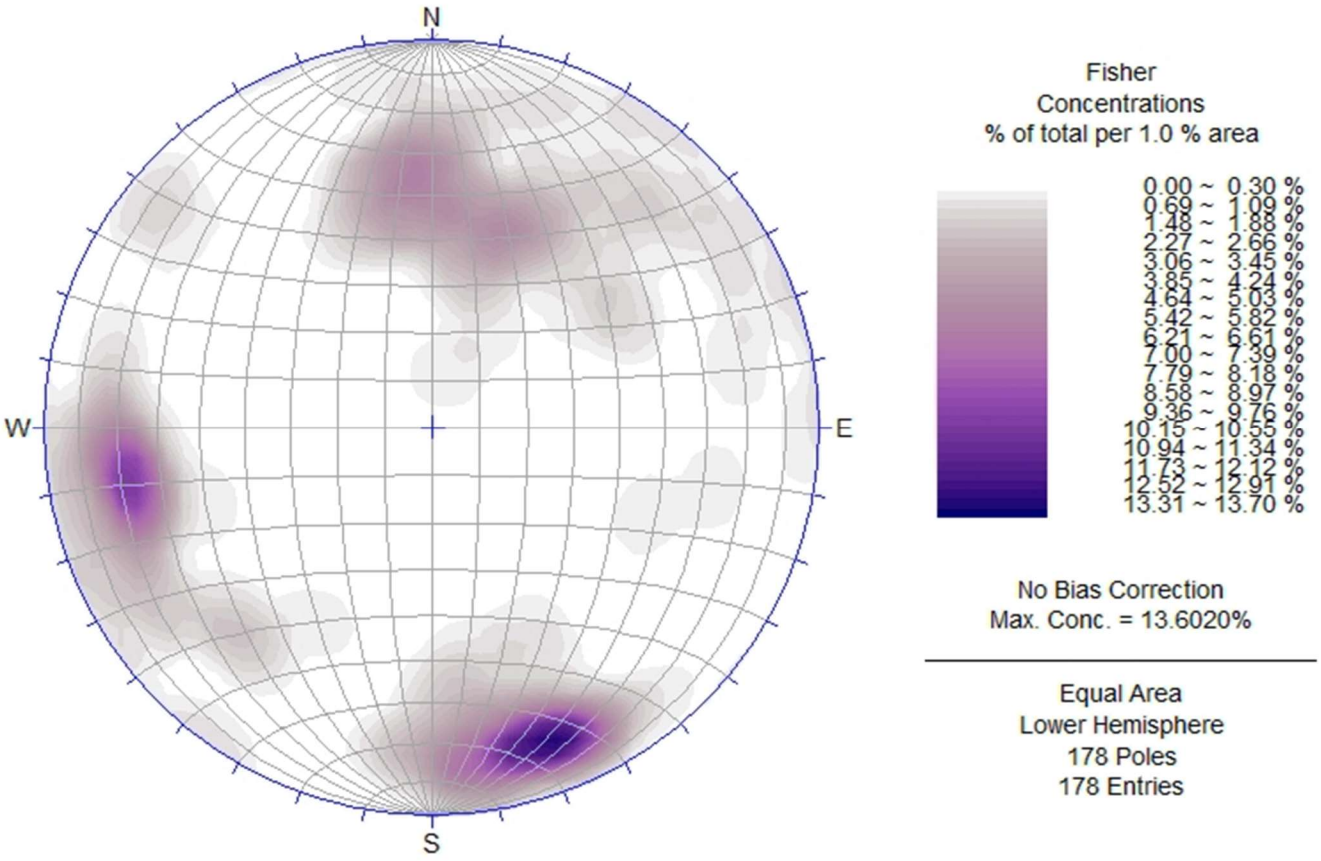


Figura 16 – Curve di isofrequenza, gradone 12

A seguire sono rappresentati i valori di giacitura ottenuti considerando le singole porzioni del gradone 12, su reticolo stereografico utilizzando una proiezione sferica equiarea nell'emisfero inferiore, come curve di isofrequenza dei poli (sempre senza considerare la correzione di Terzaghi, non necessaria).

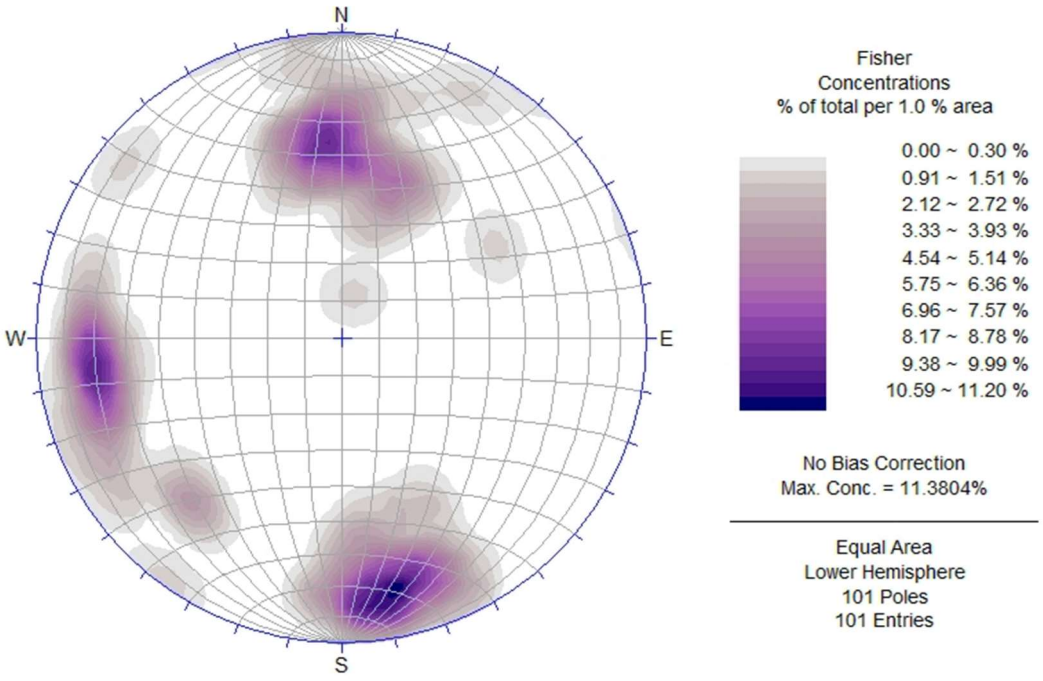


Figura 17 - Curve di isofrequenza, porzione 1

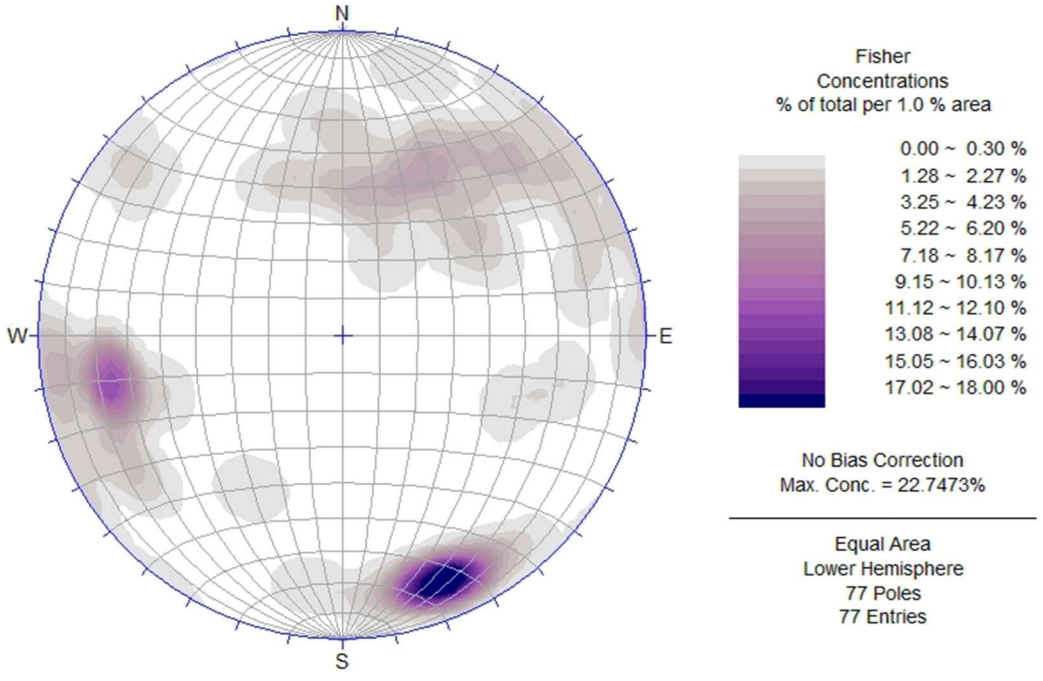


Figura 18 - Curve di isofrequenza, porzione 2

3.1.2.1. Sintesi dei dati

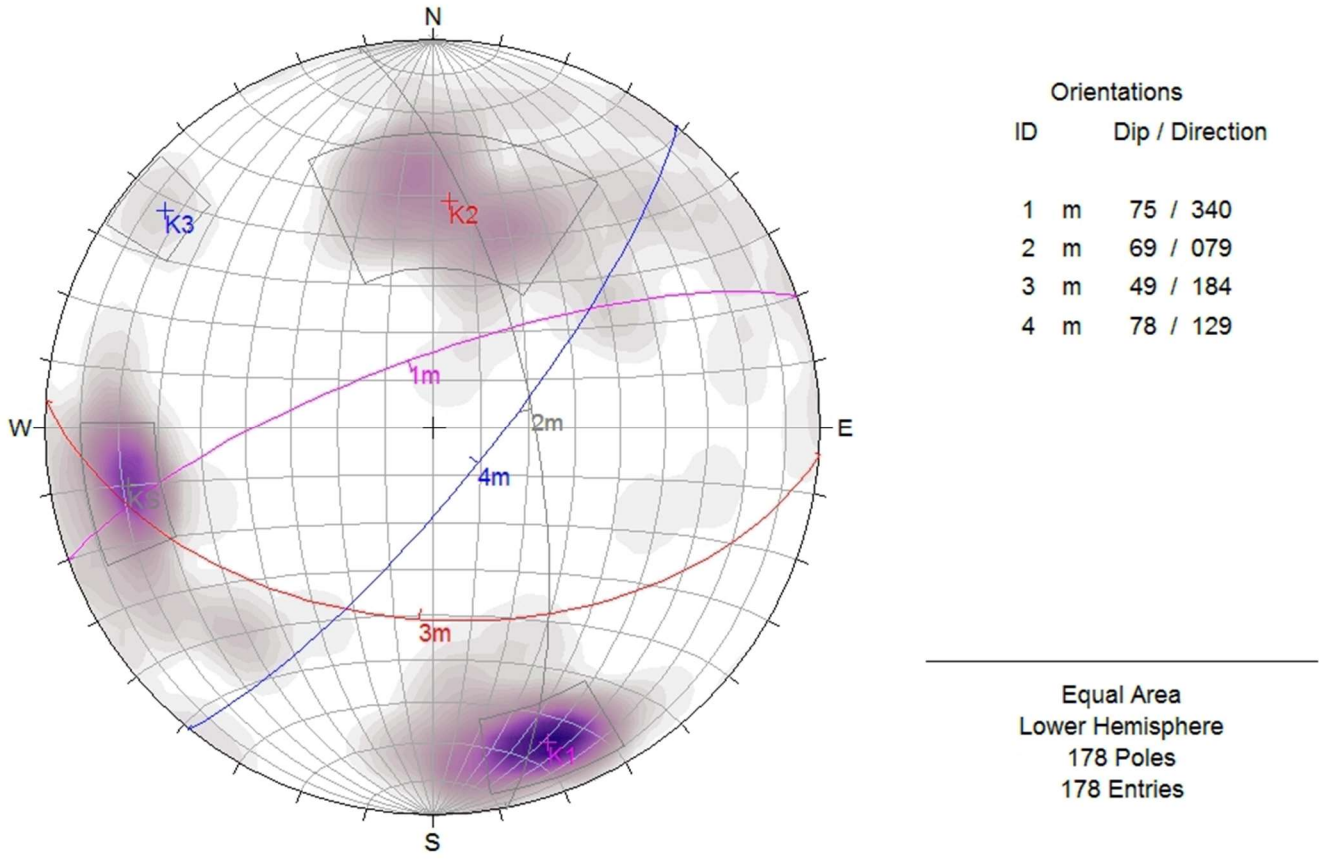


Figura 19 - Poli dei piani caratteristici dei sistemi individuati, gradone 12.

Sono stati individuati quattro sistemi principali (dip direction/dip) (Figura 19): il sistema Ks, immergente mediamente ad E e ad alto angolo, rappresentante la stratificazione, con giacitura media pari a 79/69; il sistema K1, avente giacitura media pari a 340/75, il sistema K2, con giacitura media 184/49 ed il sistema K3 con orientazione media pari a 129/78.

Anche in questo caso il sistema K1 è mediamente orientato come il fronte ed è quello lungo il quale si imposta il cinematismo di scivolamento planare caratteristico dei fenomeni di instabilità più diffusi lungo l'affioramento. Il sistema Ks è quello che delimita lateralmente i blocchi ed i sistemi K2 e K3 sono responsabili dello svincolo superiore degli stessi. I sistemi K2 e K3 mostrano una certa variabilità lungo l'intera estensione del fronte in esame, mentre i sistemi Ks e K1 presentano una giacitura media più regolare. L'orientazione media dei sistemi risulta comunque lievemente differente rispetto a quanto rilevato per il gradone 10.

Come in precedenza sono presenti anche piani con giacitura casuale non riconducibile ai sistemi individuati; dall'analisi delle immagini inoltre emerge la possibilità dell'esistenza di sistemi non affioranti come superfici, per i quali non è stato possibile determinare l'orientazione dei piani associati.

3.1.3. Rappresentazione globale dei dati estratti

Analizzando nella globalità i dati estratti su entrambi i fronti si possono meglio osservare le caratteristiche di ciascun sistema di discontinuità, considerandone la variabilità (Figura 20).

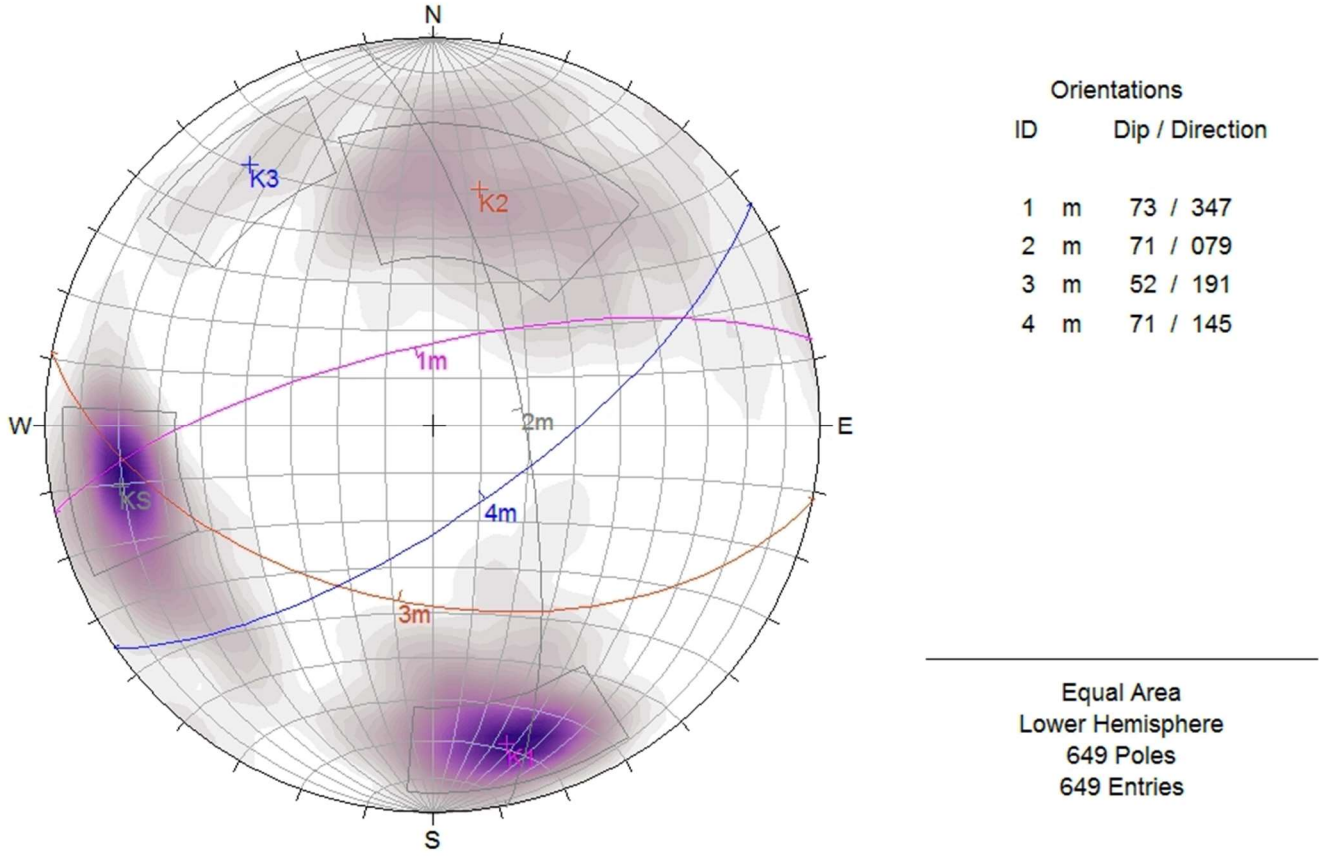


Figura 20 – Curve di isofrequenza, gradoni 10 e 12.

Dai dati aggregati si notano nuovamente quattro sistemi principali (dip direction/dip) (Figura 20): il sistema Ks, immergente mediamente ad E e ad alto angolo, rappresentante la stratificazione, con giacitura media pari a 79/71; il sistema K1, avente giacitura media pari a 347/73, il sistema K2, con giacitura media 191/52 ed il sistema K3 con orientazione media pari a 145/71.

Anche in questo caso il sistema K1 è mediamente orientato come il fronte ed è quello lungo il quale si imposta il cinematismo di scivolamento planare caratteristico dei fenomeni di instabilità più diffusi lungo l'affioramento. Il sistema Ks è quello che delimita lateralmente i blocchi ed i sistemi K2 e K3 sono responsabili dello svincolo superiore degli stessi. Il sistema K2 e K3 mostrano di nuovo una certa variabilità lungo l'intera estensione del fronte in esame (con una marcata dispersione dei poli in prossimità del primo), mentre i sistemi Ks e K1 presentano una giacitura media più regolare. L'orientazione media dei sistemi mostra comunque una tendenza ad una dispersione maggiore.

Come in precedenza sono presenti anche piani con giacitura casuale non riconducibile ai sistemi individuati; dall'analisi delle immagini inoltre emerge la possibilità dell'esistenza di sistemi non affioranti come superfici, per i quali non è stato possibile determinare l'orientazione dei piani associati.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

3.2. DATI DI SPAZIATURA DEI SINGOLI SISTEMI

Oltre ai dati giaciturali è stato possibile interrogarre il DSM ed ottenere dati di spaziatura relativi ai sistemi di discontinuità individuati. I dati ottenuti sono stati trattati statisticamente distintamente per i due fronti di scavo e per i quattro sistemi di discontinuità. Infine è stato analizzato globalmente il set di dati, sommando le misure di spaziatura del gradone 10 e del gradone 12. I dati di spaziatura, riportati in ascissa dei grafici, sono in metri.

3.2.1. Gradone 10

Nelle Figura 21 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema Ks, nella Figura 22 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K1, nella Figura 23 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K2, nella Figura 24 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K3 mentre in Tabella 3 sono riportati, per ciascun sistema, i valori minimo, medio e massimo e la deviazione standard delle distribuzioni ottenute.

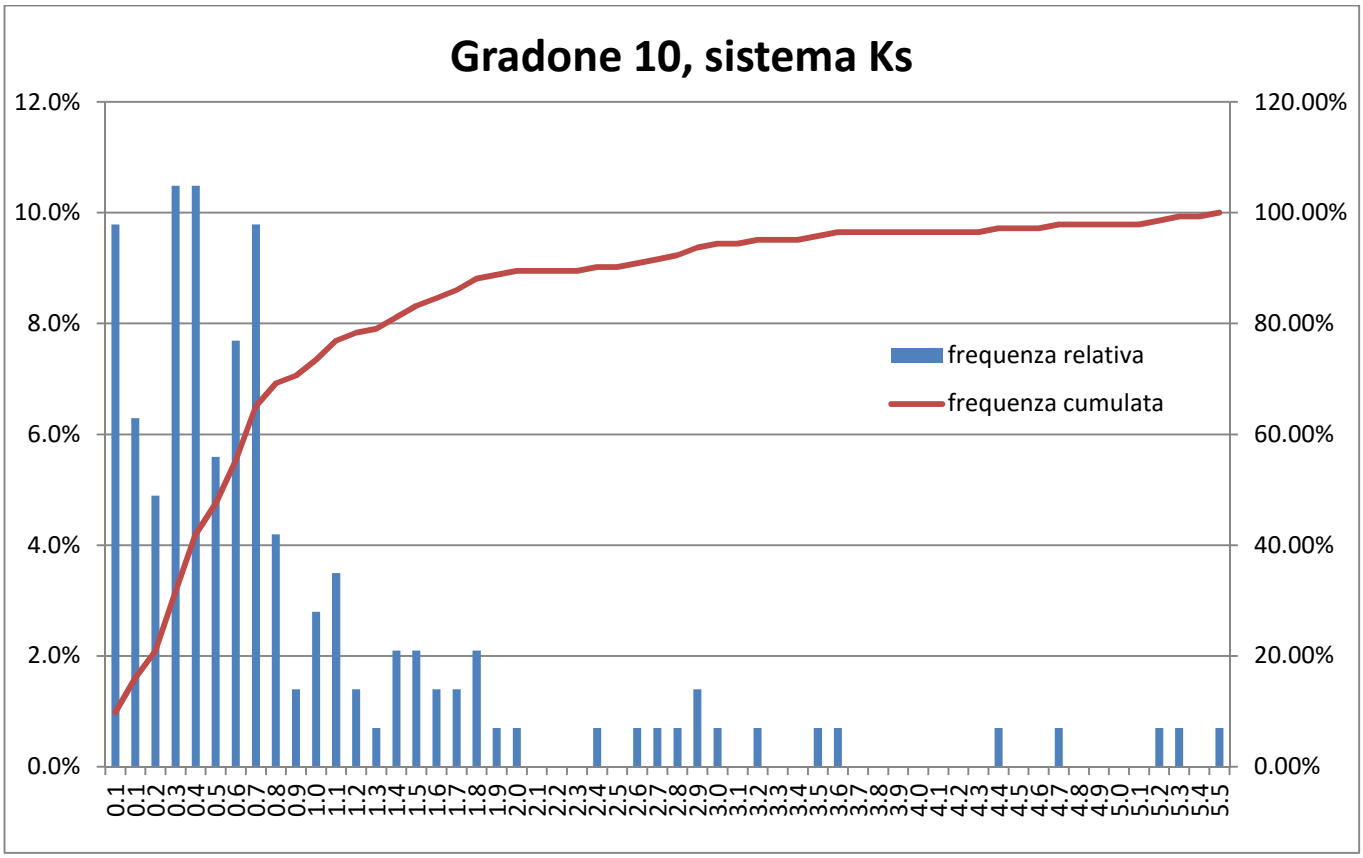


Figura 21 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

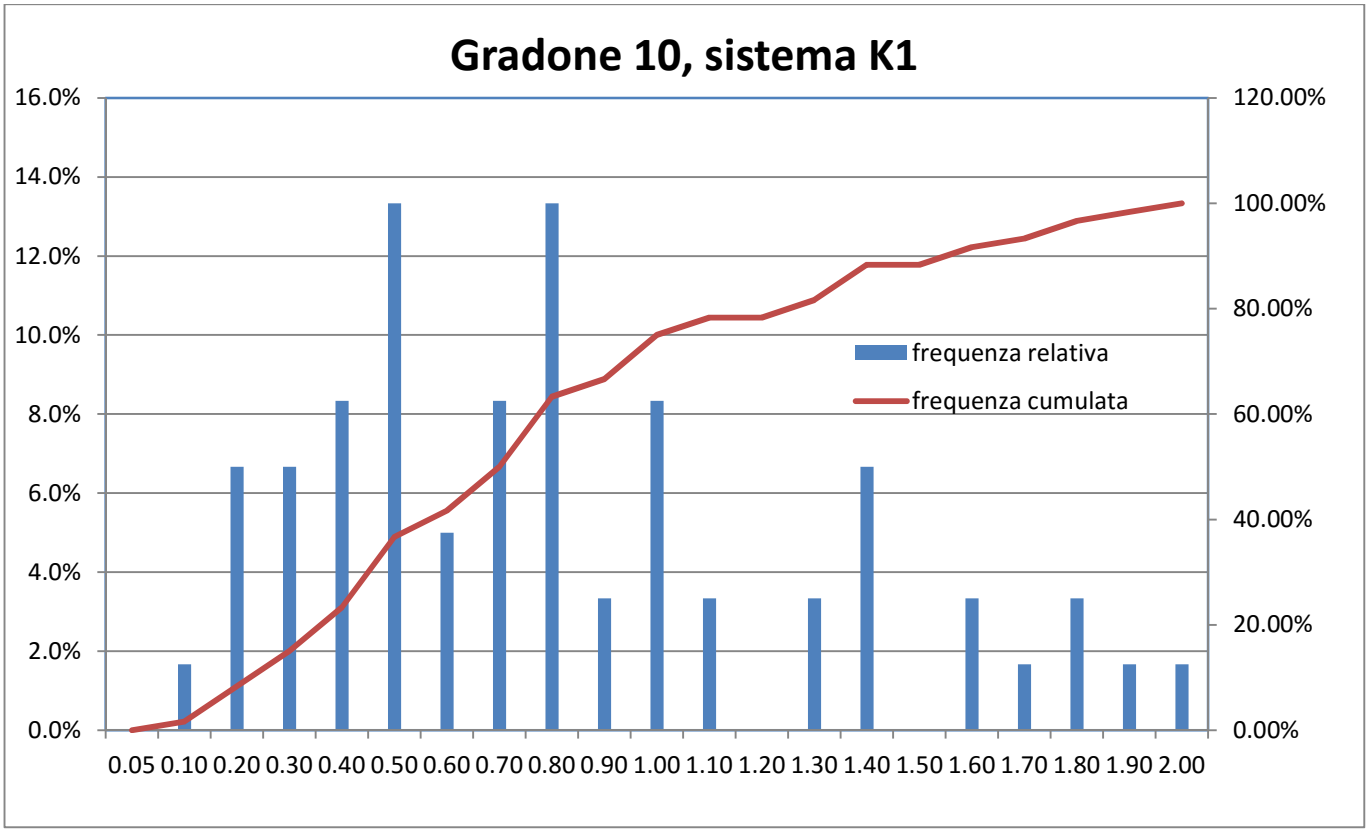


Figura 22 - distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

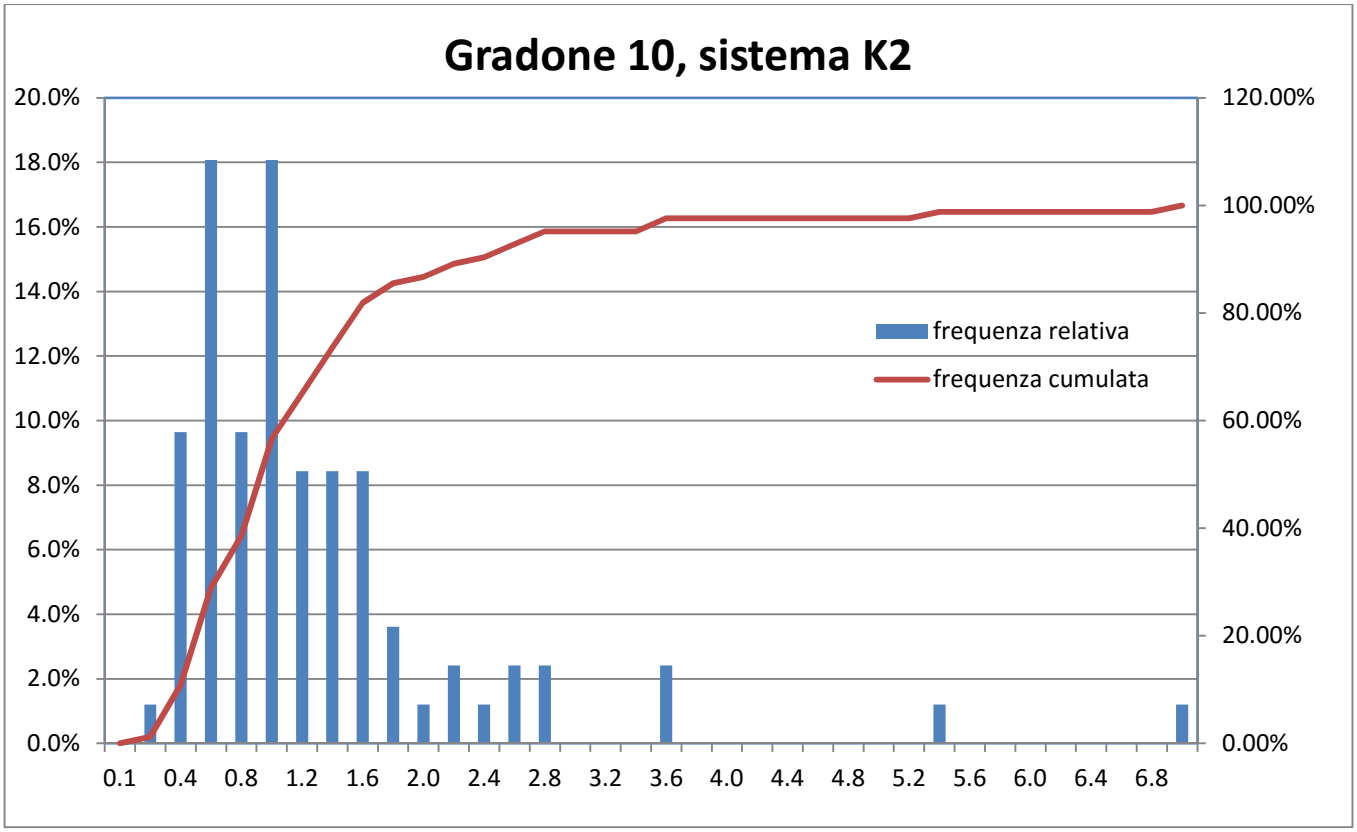


Figura 23 - distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

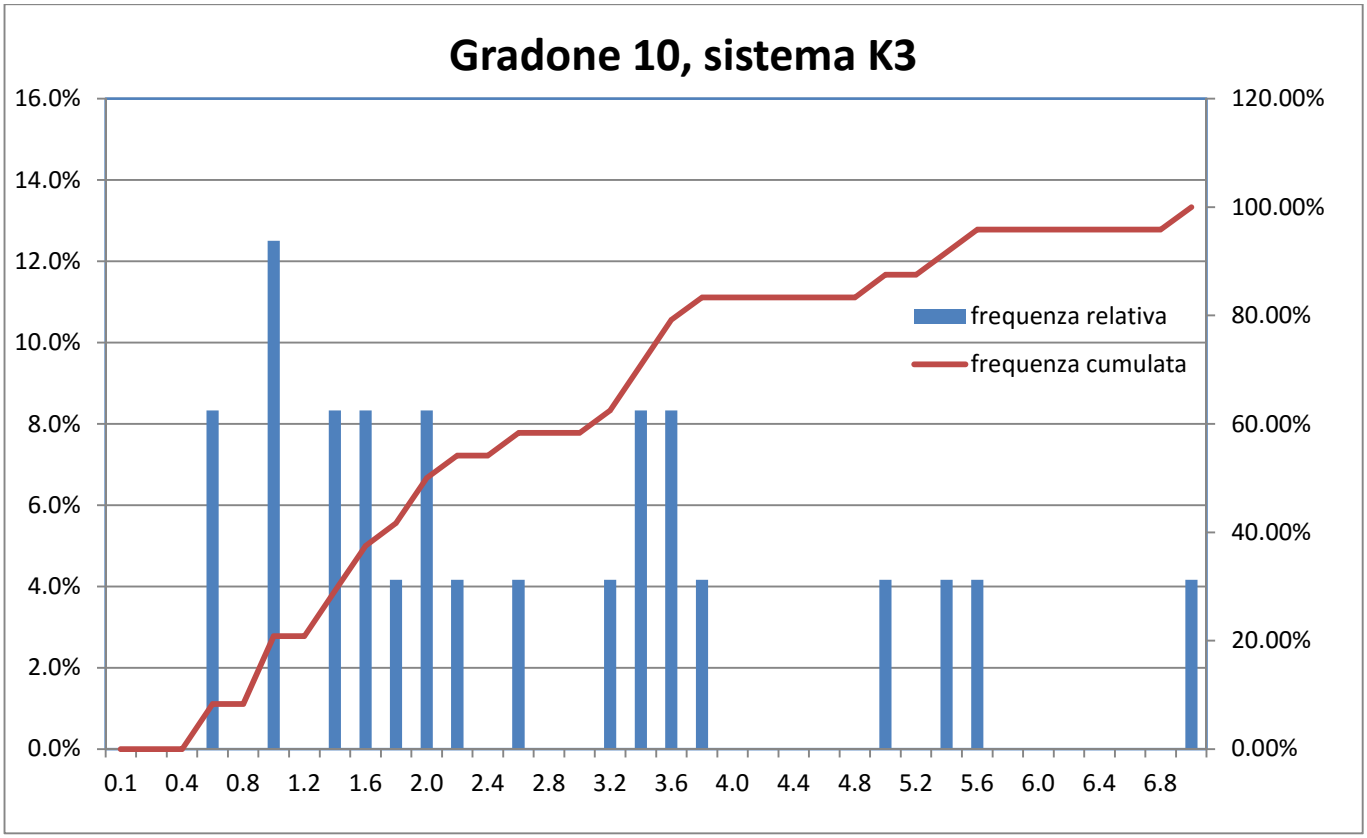


Figura 24 - distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

Tabella 3 – valori caratteristici di spaziatura dei sistemi di discontinuità, gradone 10.

Sistema	Valore minimo [m]	Valore medio [m]	Valore massimo [m]	Dev. Std [m]
Ks	0.009	0.926	5.500	1.094
K1	0.150	0.823	2.000	0.478
K2	0.200	1.312	7.050	1.059
K3	0.690	2.702	7.050	1.740

3.2.2. Gradone 12

Nelle Figura 25 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema Ks, nella Figura 26 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K1, nella Figura 27 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K2, nella Figura 28 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K3 mentre in Tabella 4 sono riportati, per ciascun sistema, i valori minimo, medio e massimo e la deviazione standard delle distribuzioni ottenute.

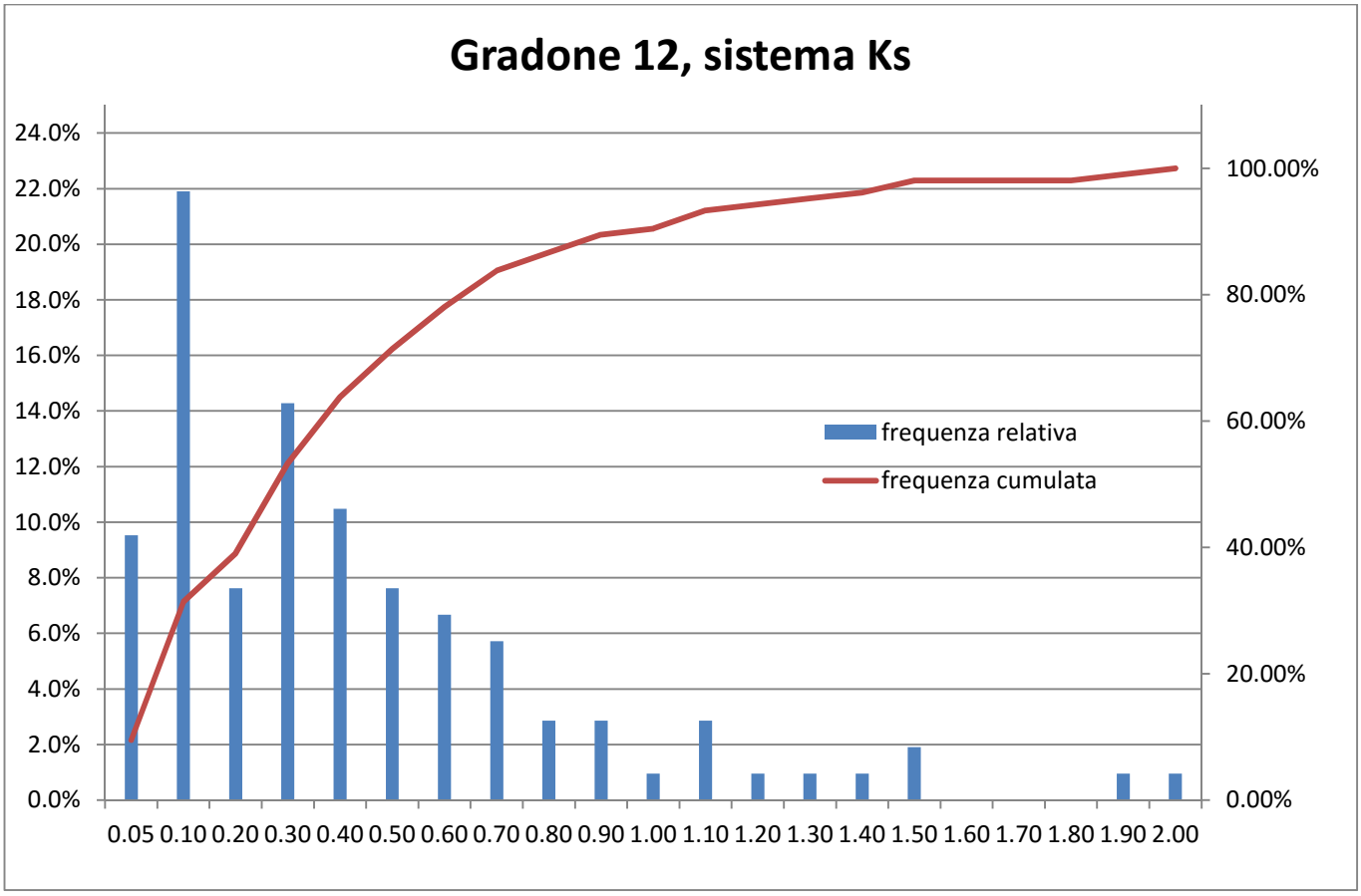


Figura 25 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

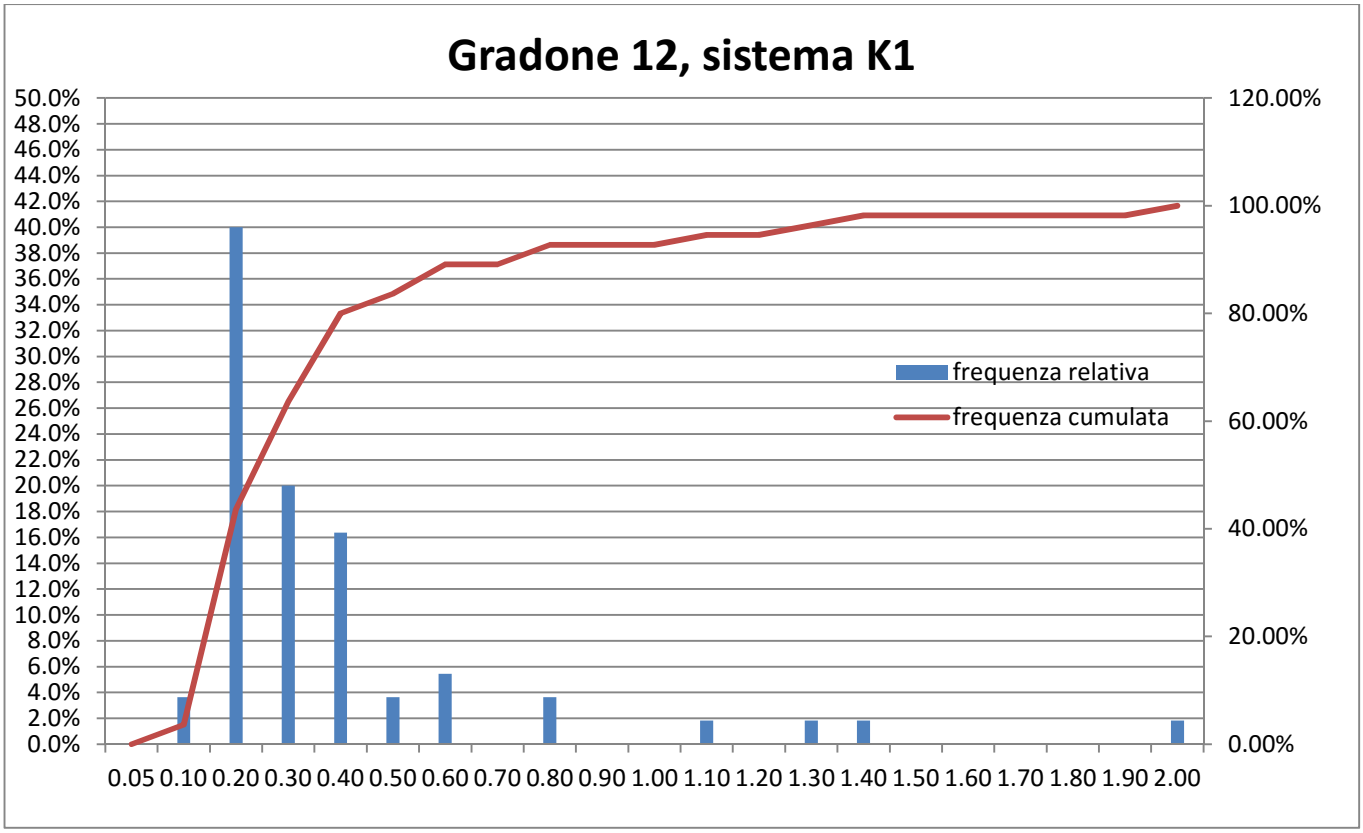


Figura 26 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

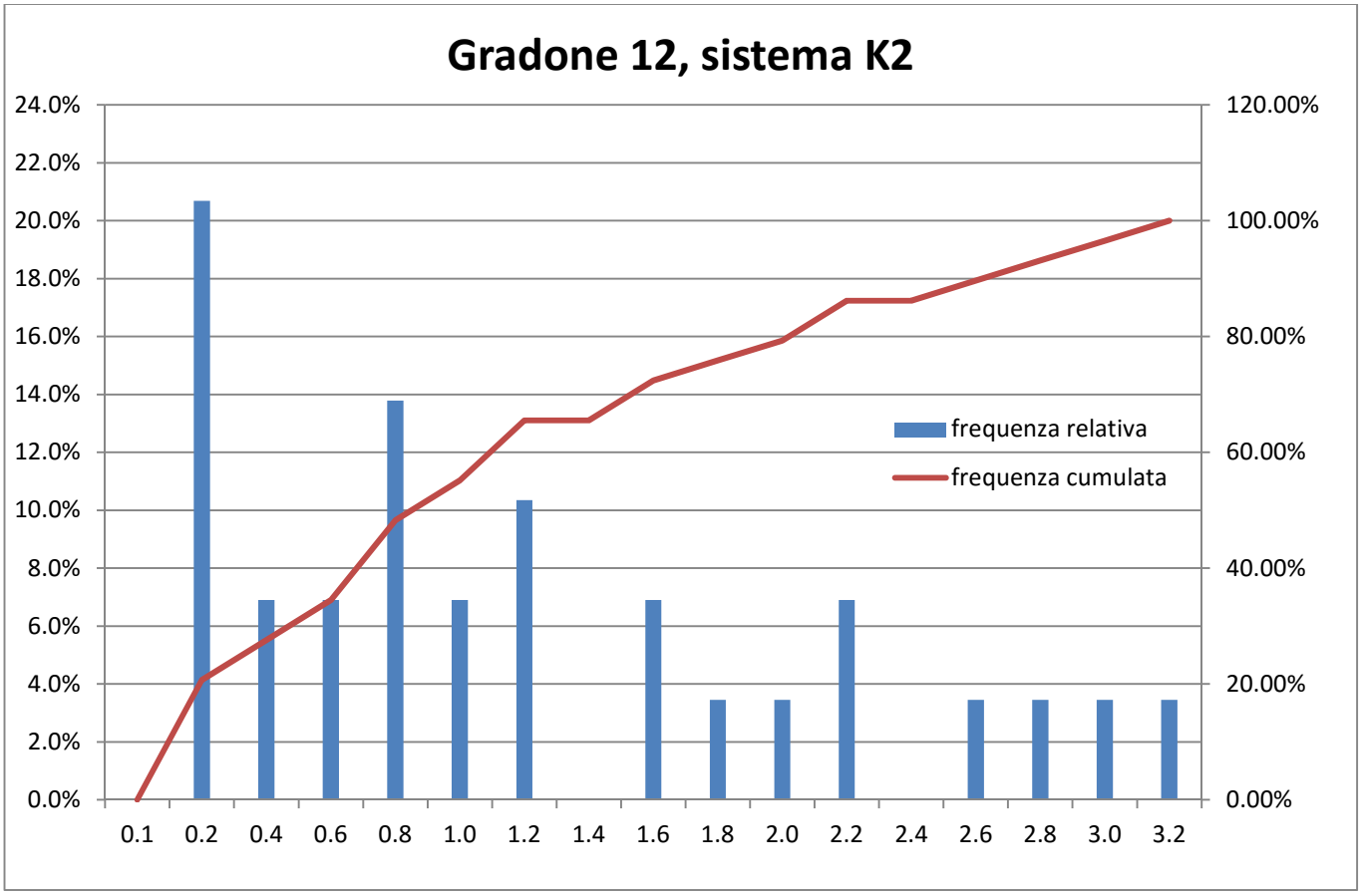


Figura 27 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

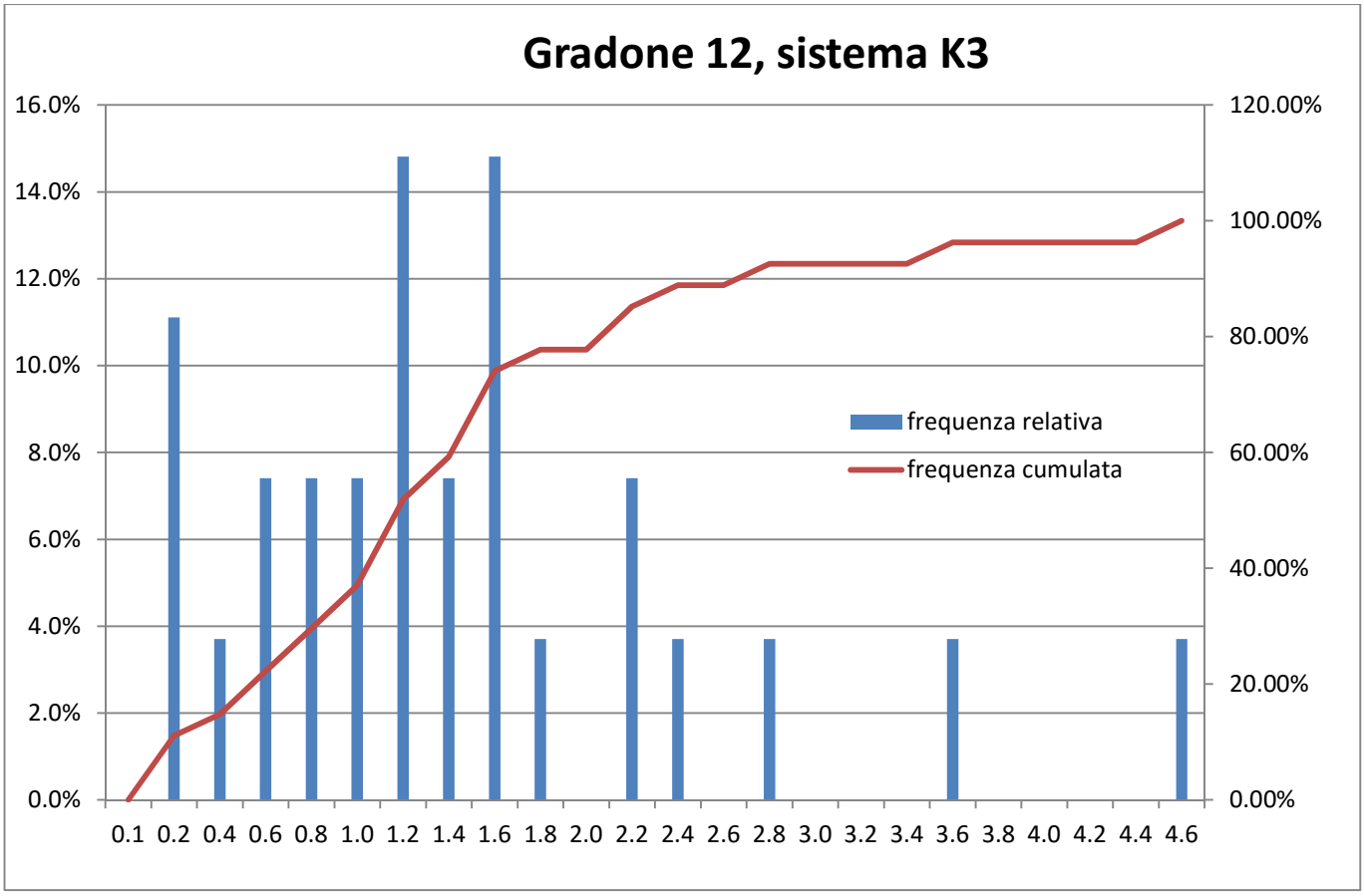


Figura 28 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

Tabella 4 – valori caratteristici di spaziatura dei sistemi di discontinuità, gradone 12.

Sistema	Valore minimo [m]	Valore medio [m]	Valore massimo [m]	Dev. Std [m]
Ks	0.020	0.431	1.970	0.407
K1	0.090	0.396	2.030	0.349
K2	0.190	1.229	3.200	0.909
K3	0.230	1.475	4.590	1.030

3.2.3. Analisi statistica globale dei dati di spaziatura

Cumulando i dati rilevati sui gradoni 10 e 12 si effettua di seguito un'analisi globale dei valori di spaziatura dei vari sistemi.

Nelle Figura 29 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema Ks, nella Figura 30 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K1, nella Figura 31 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K2, nella Figura 32 sono riportate la distribuzione di frequenza relativa e la curva di frequenza cumulata dei dati di spaziatura del sistema K3 mentre in Tabella 5 sono riportati, per ciascun sistema, i valori minimo, medio e massimo e la deviazione standard delle distribuzioni ottenute.

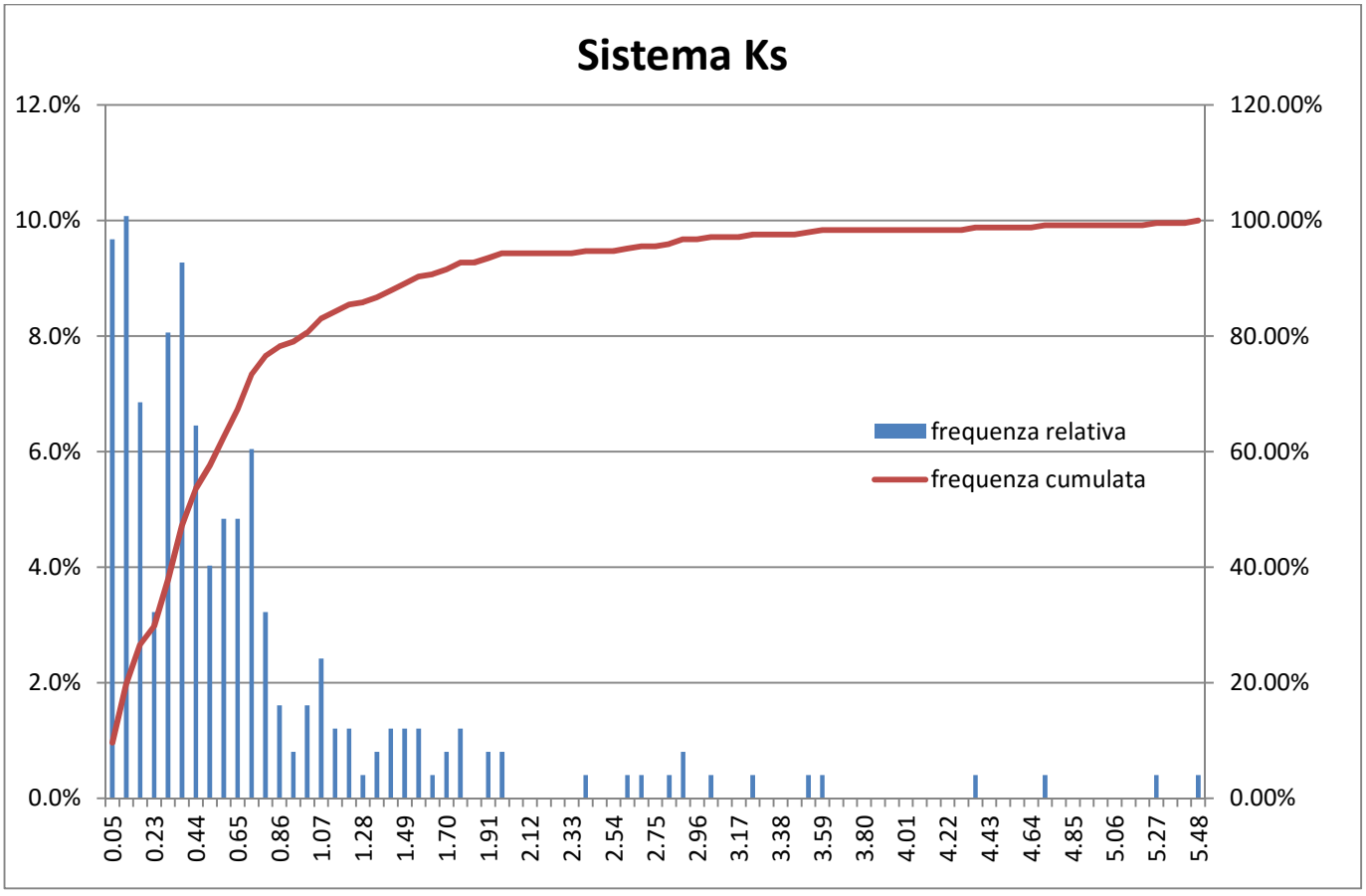


Figura 29 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

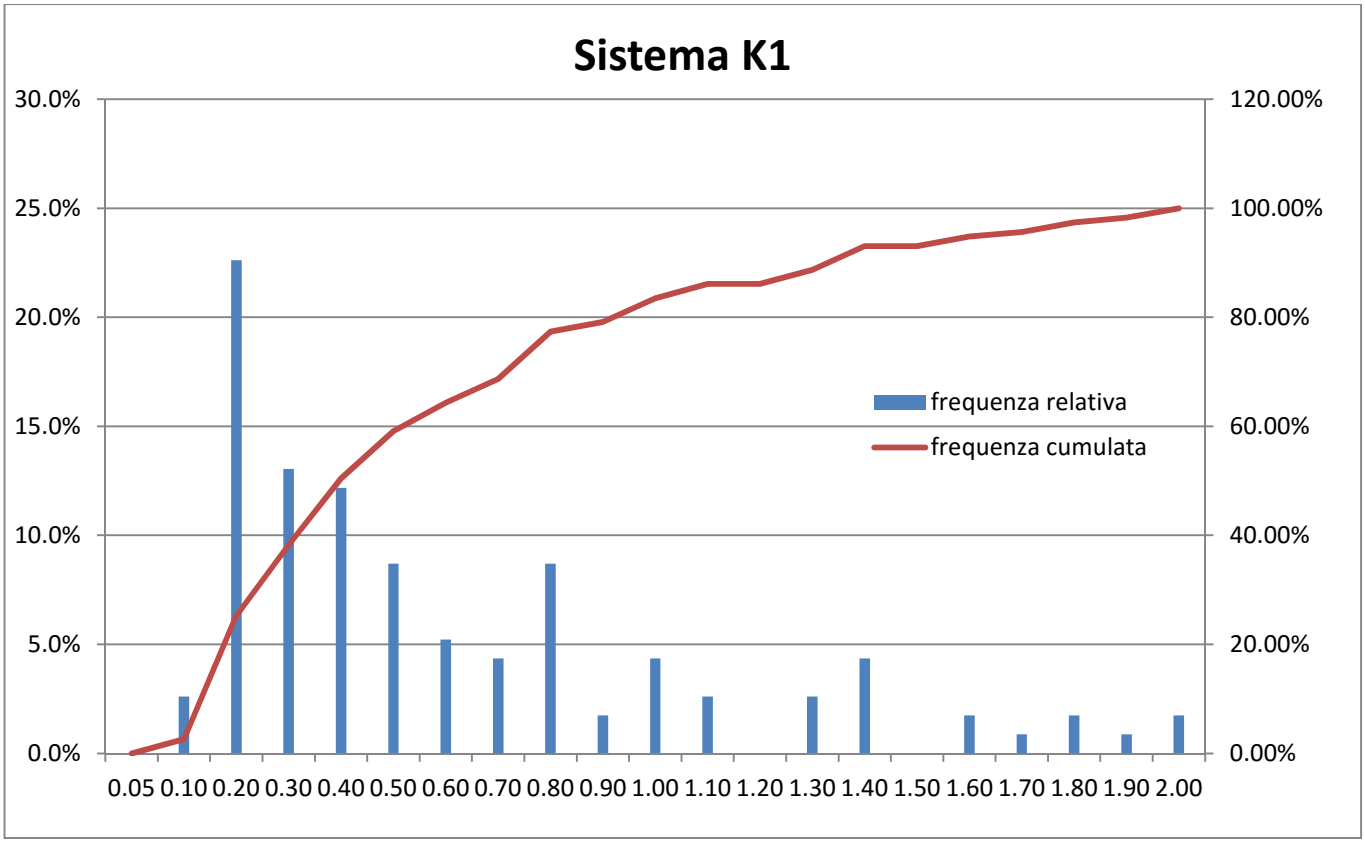


Figura 30 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

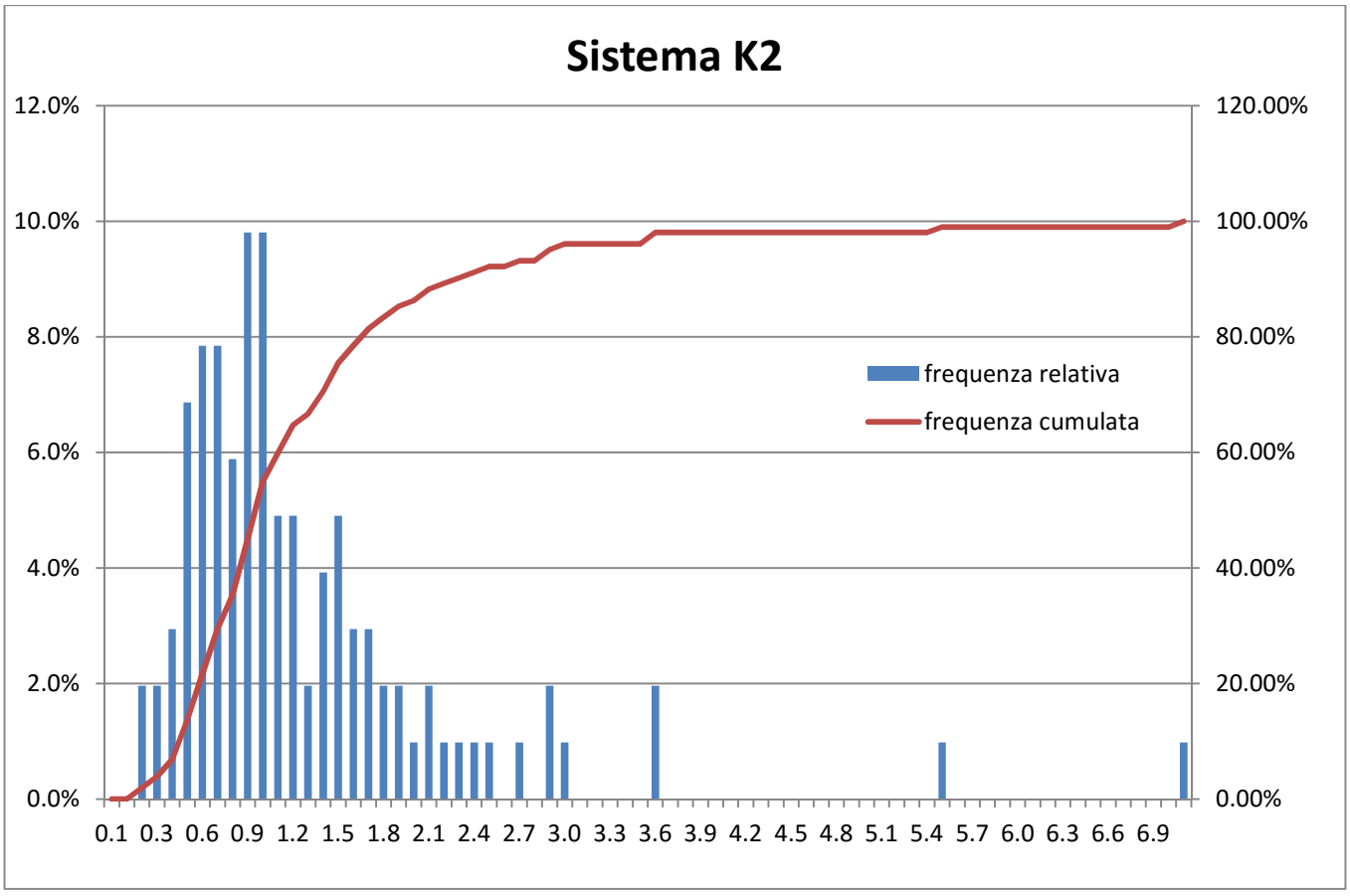


Figura 31 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com

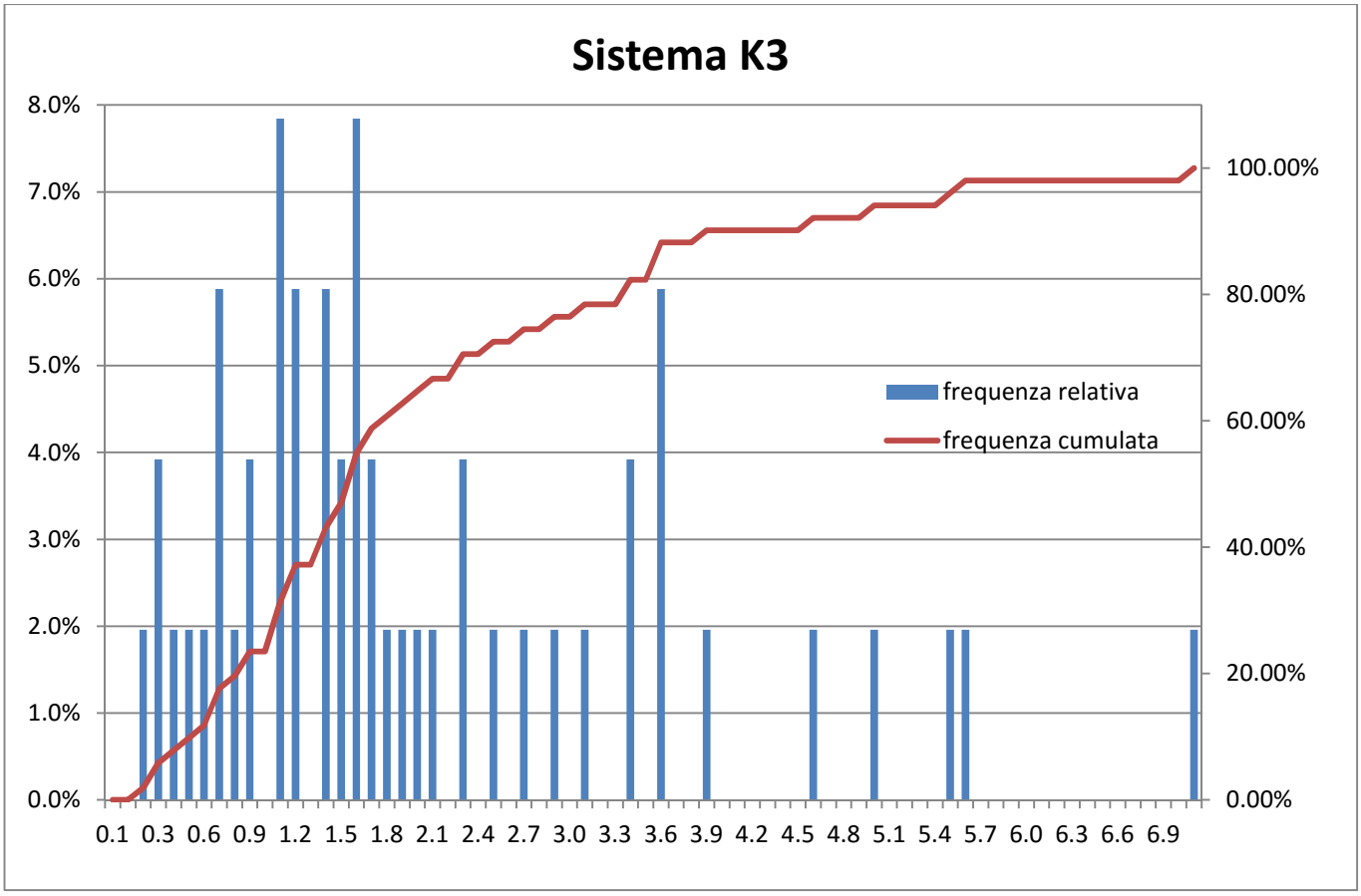


Figura 32 – distribuzioni di frequenza dei valori di spaziatura, riportati in metri.

Tabella 5 – valori caratteristici di spaziatura dei sistemi di discontinuità, gradoni 10 e 12.

Sistema	Valore minimo [m]	Valore medio [m]	Valore massimo [m]	Dev. Std [m]
Ks	0.009	0.698	5.500	0.858
K1	0.090	0.619	2.030	0.471
K2	0.200	1.285	7.050	1.008
K3	0.230	2.052	7.050	1.525

4. CONCLUSIONI

La presente relazione riporta i risultati ottenuti dal rilievo geostrutturale di due fronti di coltivazione, il gradone 10 e il gradone 12 della Cava Bergamasca, di proprietà della F.lli Carminati S.p.A., ubicata nel comune di Ventimiglia, in frazione Bevera, eseguito applicando tecniche di misura fotogrammetriche.

I rilievi fotogrammetrici accompagnati dal rilievo topografico d'appoggio hanno permesso di ottenere due Modelli Digitali di Superficie (DSM) costituiti da una nuvola di circa 8.8 milioni di vertici per il gradone 10, e 12 milioni di vertici per il gradone 12. La restituzioni dei blocchi di immagini è stata eseguita con algoritmi di "*structure from motion*". I modelli ottenuti sono stati divisi in porzioni più piccole, 4 per il gradone 10 e 2 per il gradone 12.

I DSM, sono stati interrogati per determinare delle caratteristiche geometriche dell'affioramento, quali:

- orientazione dei piani di discontinuità emergenti;
- spaziatura dei piani di discontinuità emergenti;

Sono stati individuati, oltre ad una serie di piani ad orientazione casuale, quattro sistemi principali: il sistema Ks, immergente mediamente ad E e ad alto angolo, rappresentante la stratificazione, con giacitura media pari a 79/71; il sistema K1, avente giacitura media pari a 347/73, il sistema K2, con giacitura media 191/52 ed il sistema K3 con orientazione media pari a 145/71.

Dall'analisi delle immagini inoltre emerge la possibilità dell'esistenza di sistemi non affioranti come superfici, per i quali non è stato possibile determinare l'orientazione dei piani associati.

I dati di spaziatura misurati hanno evidenziato una spaziatura media del sistema Ks pari a circa 0.7 m, del sistema K1 pari a circa 0.6 e dei sistemi K2 e K3 pari a circa 1.2 e 2 m rispettivamente. Le distribuzioni di frequenza riportate nei grafici dedicati indicano valori caratteristici (a maggior frequenza) del sistema Ks pari a circa 0.1 m, del sistema K1 pari a circa 0.2 e dei sistemi K2 e K3 pari a circa 1 e 1,5 m rispettivamente.

Novembre 2015

SIMONE FIUSSELLO
GIUSEPPE GUASCO
DAMIANO VACHA

STUGIO GEOLOGICO ASSOCIATO FG – geostudiofg@gmail.com - www.geostudiofg.com
3DeFFe – FOTOGRAMMETRIA DIGITALE AEREA 3D | GEOMATICA - info@3deffe.com - www.3deffe.com