



COMUNE DI META
(Città Metropolitana di Napoli)

Amministrazione Comunale
di Meta

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO (PUA) N° 1

TAVOLA 07

RELAZIONE GEOSTRUTTURALE

Ufficio Pianificazione Territoriale del Comune di Meta

Responsabile: Arch. Maria Rosaria Visciano

Collaboratore: Ing. Giuseppe Maresca

Consulente: Dr. Geol. Francesco Ruocco*

Collaboratore: Dr. Geol. Giuseppe Di Crescenzo[^]

* 80063 Piano di Sorrento (NA) - Via Cavoniello n° 8 - +39 0818071679 - +39 3388669444

geol.francescoruocco@alice.it - francescoruocco@pec.it - <http://it.linkedin.com/in/geologofrancescoruocco>

[^] 84010 Cetara (SA) - Via Salvo D'Acquisto n° 6 - +39 089261660 - +39 3283340032 - g.di.crescenzo@alice.it

SCALA:

FILE: Studio geologico-tecnico PUA1 Meta

ARCHIVIO: C:\Documenti\Lavori 2017

00	Dicembre 2017	Emissione			
REVISIONE	DATA	OGGETTO	REDATTO	APPROVATO	AUTORIZZATO

INDICE

1. PREMESSA	2
2. STUDIO GEOSTRUTTURALE	2
2.1 SETTORE 1_T	4
2.2 SETTORE 2_T	9
2.3 SETTORE 3_T	15
2.4 SETTORE 1_C	20
3. L'RMR SYSTEM DI BIENIAWSKI	27
3.1 DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE UNIASSIALE TRAMITE PROVA SCLEROMETRICA JCS (R1)	28
3.2 INDICE RQD (R2)	31
3.3 SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ (R3)	32
3.4 CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITÀ (R4)	33
3.5 CONDIZIONI IDRAULICHE (R5)	36
4. DETERMINAZIONE DEL RMR DI BASE: CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI.....	36
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	40

1. PREMESSA

La presente relazione descrive i criteri e metodi adottati per le analisi geostrutturali eseguite sui fronti rocciosi prospicienti la Marina di Meta e la Marina di Alimuri oggetto del PUA n. 1.

Come riportato sulla Tavola 03 sono stati eseguiti n° 10 estendimenti che hanno interessato sia il costone tufaceo sia quello carbonatico.

2. STUDIO GEOSTRUTTURALE

I rilievi di campagna hanno permesso di ricostruire in dettaglio l'assetto geostrutturale della formazione tufacea e carbonatica costituente rispettivamente il tratto più orientale della falesia costiera del graben di Sorrento e il massiccio che lo sovrasta fino ad arrivare a mare nel settore più settentrionale dell'area di interesse.

Al riguardo per quanto attiene il fronte tufaceo, considerata l'ampia spaziatura delle discontinuità esistenti, tipica di questa formazione litologica, è stato eseguito uno studio strutturale che integra per settori un'analisi alla macroscale con rilievi alla mesoscale (estendimenti) condotti alla base delle pareti (*cfr. Tavola 16 – Carta geostrutturale frontale*).

L'iter metodologico si basa sulla pubblicazione Di Crescenzo & Santo (2007) schematizzato nel diagramma di flusso di cui alla figura 2.1.

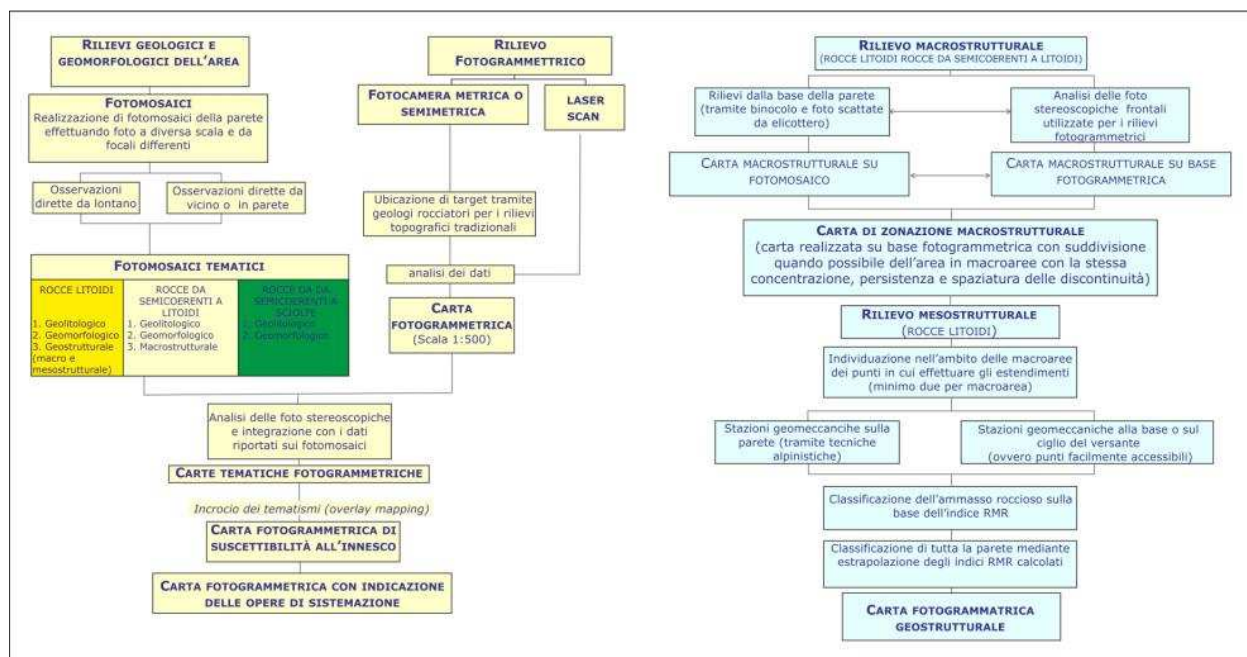


Figura 2.1: Iter metodologico seguito nel presente studio (Fonte: Di Crescenzo & Santo (2007)).

Come già detto lo studio alla macroscala è stato integrato con quello alla mesoscala, pertanto su un'ortofoto elaborata ad hoc sono state ubicate le fratture più significative e persistenti presenti sull'intero fronte (*cfr. Tavola 16 – Carta geostrutturale frontale*), di cui stesse è stata misurata in campagna la giacitura (inclinazione e azimut di immersione).

Tali analisi hanno consentito di differenziare tre settori (*cfr. Figura 2.2*) sulla falesia in tufo e uno sul fronte carbonatico:

SETTORE	LITOLOGIA	GIACITURA		ESTENDIMENTI
		Azimuth (°)	Inclinazione (°)	
SETTORE 1_T	Tufo	N280	85	E1_T; E2_T
SETTORE 2_T	Tufo	N285	85	E3_T; E4_T E5_T; E6_T; E7_T
SETTORE 3_T	Tufo	N280	80	E8_T
SETTORE 1_C	Calcere	N260	85	E9_C; E10_C

Tavola 2.1: Numero di identificazione e giacitura delle faglie rilevate.

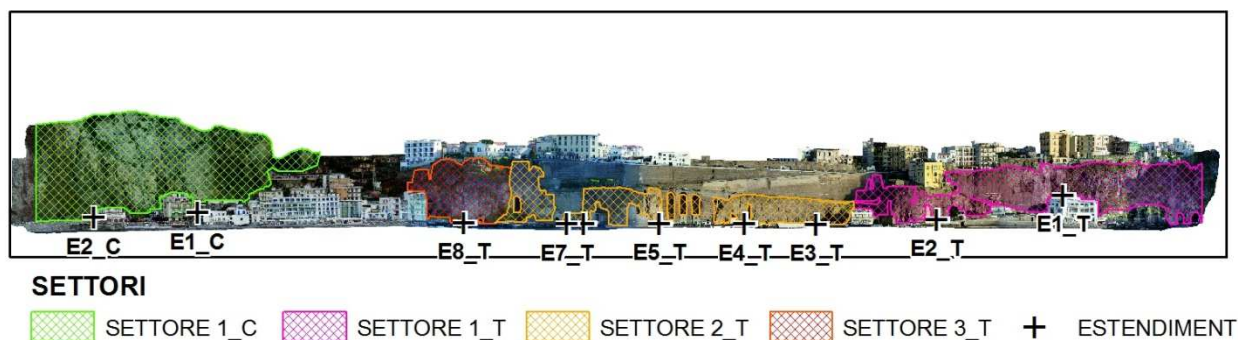


Figura 2.1: Settori distinti sulla falesia tufacea e sul fronte carbonatico

Successivamente nell'ambito dei settori individuati, in punti ritenuti significativi dello stato fessurativo dell'ammasso, sono stati realizzati 10 estendimenti di cui 8 nella formazione tufacea e 2 in quella carbonatica.

2.1 SETTORE 1_T

Il settore 1 è posizionato sul margine meridionale dell'area di studio e presenta una lunghezza di circa 250 m per un'altezza variabile tra i 40 e i 50 m. In esso è possibile distinguere un'area a sud morfologicamente accidentata, molto fratturata (fratture ad andamento subverticale molto persistenti), con numerose evidenze di nicchie di frane da crollo, porzioni di roccia aggettanti e sulla cornice sommitale l'affioramento delle piroclastiti sciolte (cfr. Figura 2.1.1). Quest'area è stata oggetto di sistemazione mediante ancoraggi e bullonature.

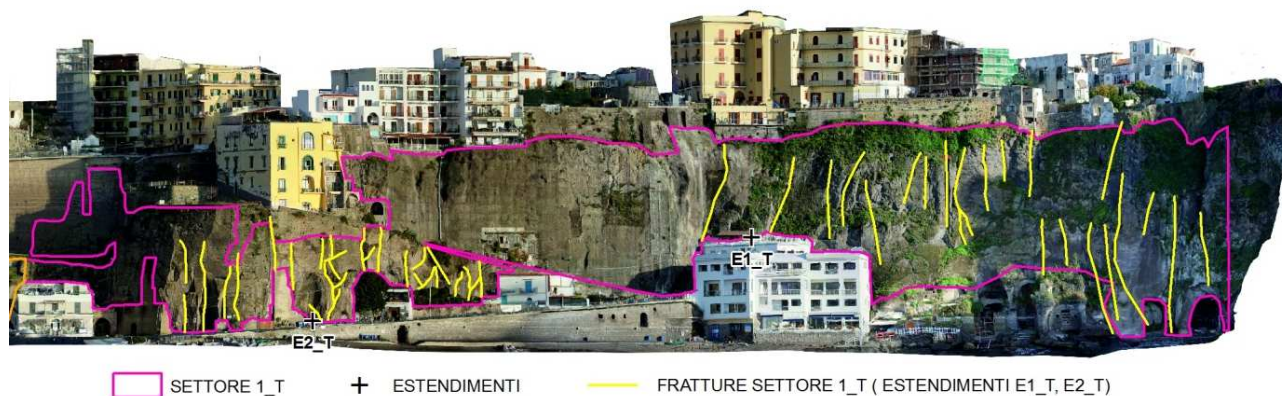


Figura 2.1.1

La parte centrale del settore ancorché molto antropizzata (muri di contenimento) è stata oggetto di sistemazione mediante malta cementizia fibrorinforzata a comportamento reoplastico (Spriz Beton) (cfr. Tavola 17 – Carta della stabilità frontale)

La rimanente porzione più settentrionale è caratterizzata da un fronte tufaceo regolare con diverse riseghe e superfici piane subverticali di origine antropica. Anche qui si rinvengono fratture subverticali persistenti e una spaziatura ampia.

Nel settore 1_T sono stati realizzati due estendimenti e, pertanto, le fratture compressive misurate e catalogate (n° 51) secondo la relativa giacitura sono illustrate nella tabella 2.1.1.

NUMERO	GIACITURA	
	Azimuth di immersione	Inclinazione
1	80	18
2	82	340
3	80	200
4	85	315
5	85	275
6	82	35
7	85	32
8	80	90
9	85	85
10	75	220
11	80	280
12	82	275
13	70	290
14	75	285
15	85	285
16	80	265
17	80	200
18	80	210
19	80	265

PIANO URBANISTICO TERRITORIALE № 1 - META (NA)
RELAZIONE GEOSTRUTTURALE
Dott. Geol. Francesco RUOCCO* - Dott. Geol. Giuseppe DI CRESCENZO[^]

20	85	275
21	75	210
22	80	245
23	85	290
24	82	40
25	85	30
26	80	270
27	82	265
28	78	270
29	75	265
30	85	265
31	80	280
32	70	260
33	65	275
34	80	170
35	80	190
36	75	175
37	75	210
38	70	220
39	70	200
40	75	190
41	80	192
42	75	194
43	70	320
44	75	285
45	70	30
46	75	35
47	80	358
48	65	40
49	75	25
50	80	15
51	85	20

Tabella 2.1.1: Numero di identificazione e giacitura delle fratture rilevate.

L'orientazione delle discontinuità rilevate sono confluite su diagrammi polari (proiezione equiareale) che hanno permesso di individuare le ciclografiche rappresentative delle famiglie principali (cfr. Figure 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 e 2.1.5). Tale risultato è stato ottenuto mediante l'utilizzo di un software dedicato quale DIPS della Rockscience.

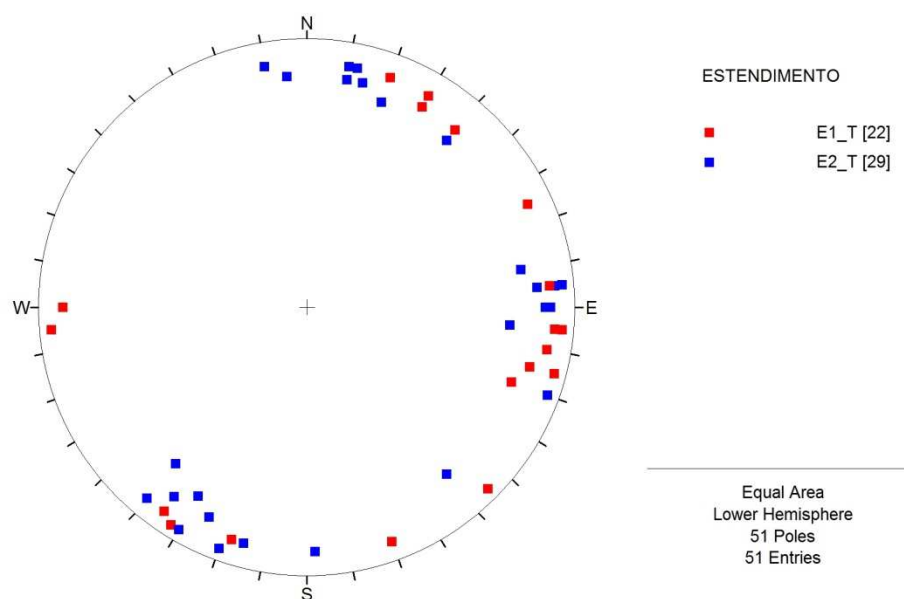


Figura 2.1.2: Diagramma polare con discontinuità distinte per estensione ricadente nel settore 1_T

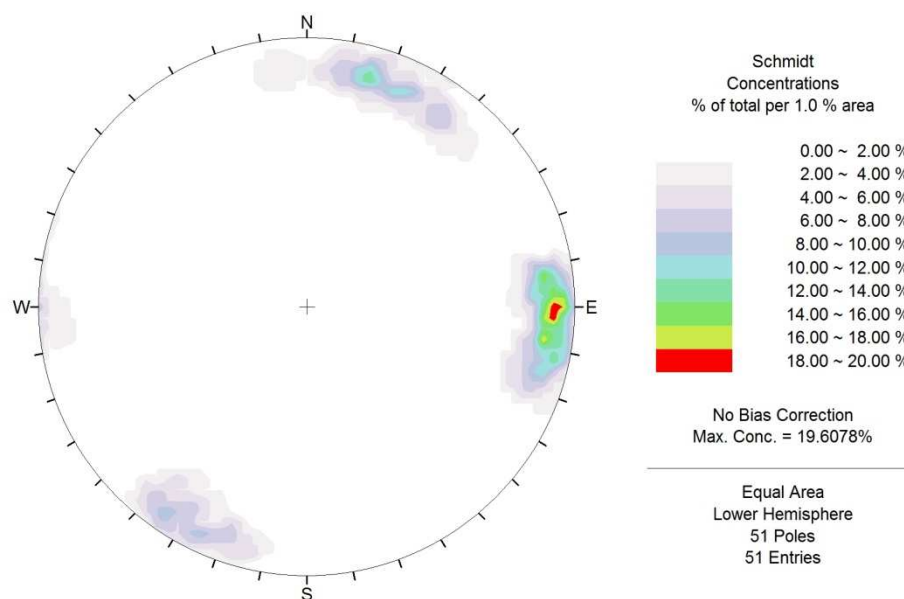


Figura 2.1.3: Diagramma delle isodense secondo Fisher (settore 1_T)

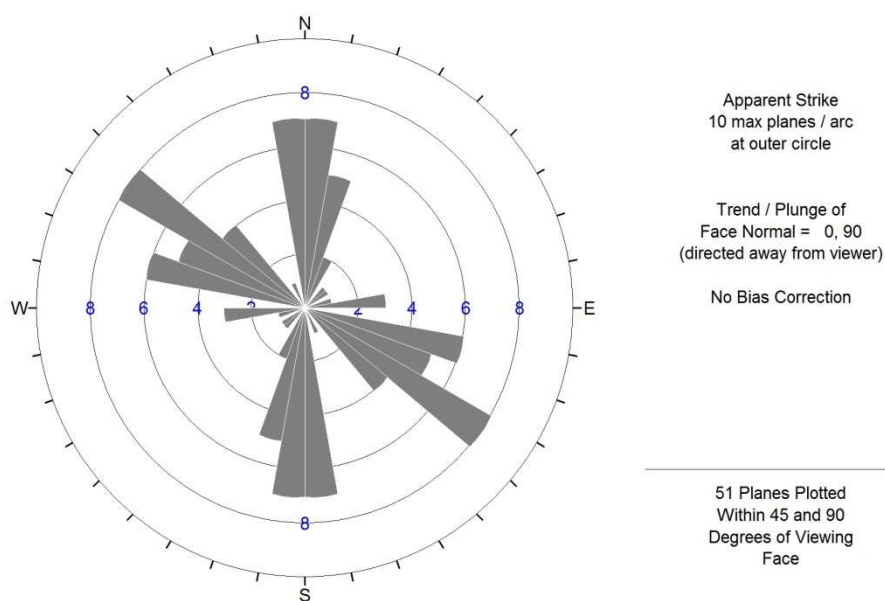


Figura 2.1.4: Diagramma a rosetta (settore 1_T)

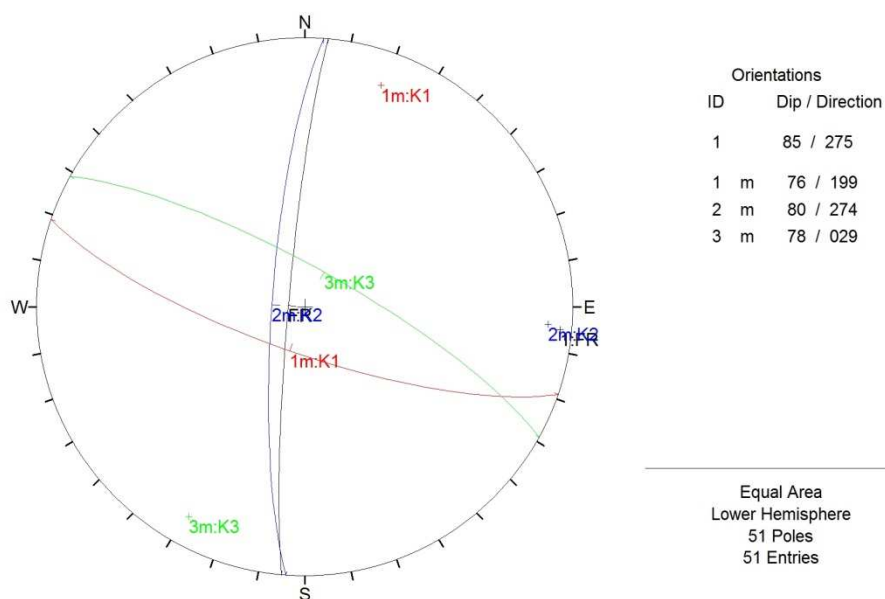


Figura 2.1.5: Diagramma con indicazione delle famiglie di discontinuità principali riscontrate nel settore 1_T

Sulla base delle discontinuità rilevate in corrispondenza di ogni estendimento è stata valutata la orientazione dei sistemi di discontinuità rispetto al pendio per verificare la esistenza di gradi di libertà (*cfr. Figura 2.1.6*) ai fini di un possibile dissesto secondo l'approccio proposto da Moon et al. (2001).

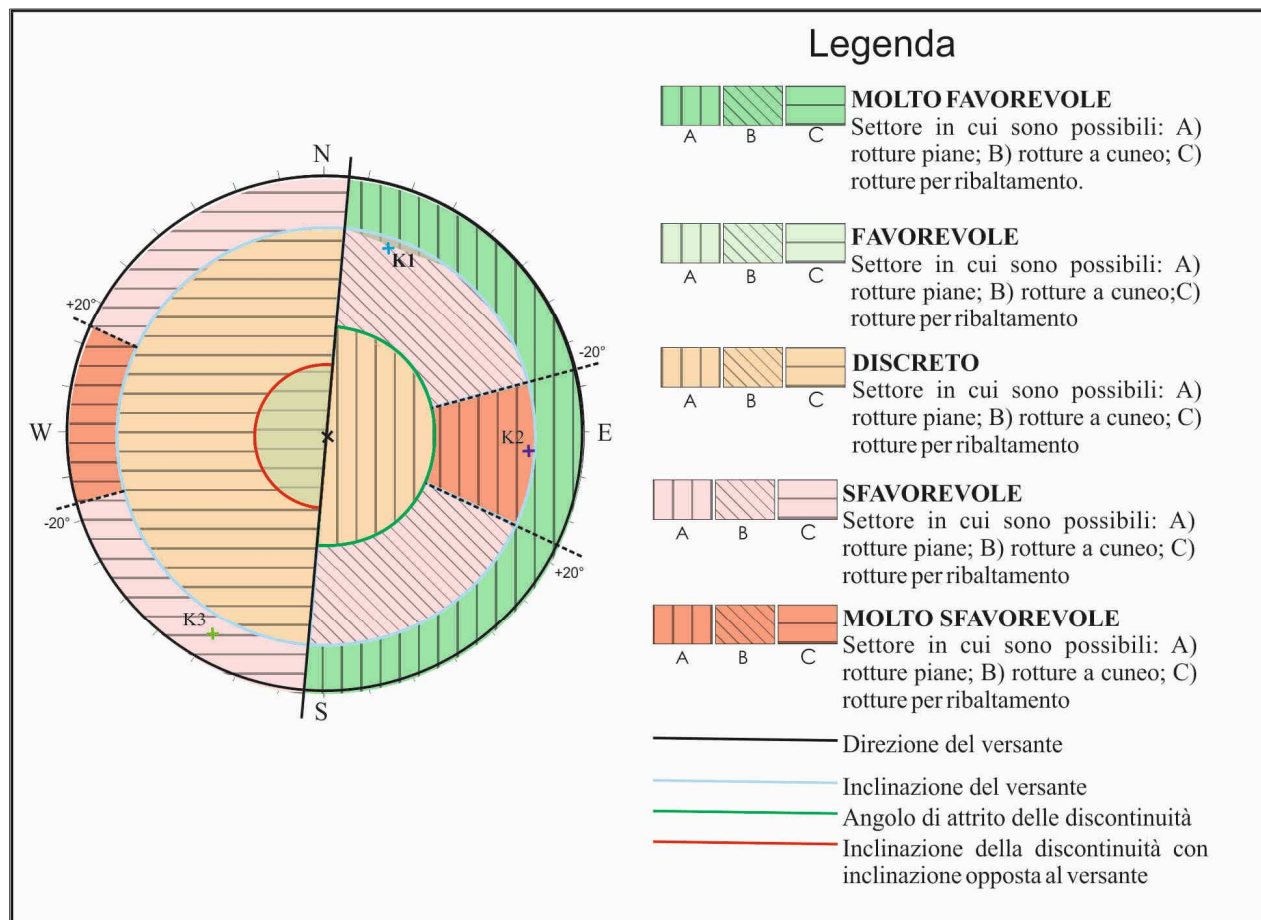


Figura 2.1.6: Test di Moon et al. (2001) per gli estendimenti E1-E2 del settore 1 .

I risultati finali di tali elaborazioni sono sintetizzati nella seguente tabella.

Settore	Estendimenti	ribaltamento	scivolamento planare	scivolamento di cunei
1_T	E1_T - E2 -T	K3 (78/029)	K2 (80/274)	K1 (76/199)

Tabella 2.1.2: Sintesi dei cinematismi elaborati con il test di Moon et al.

2.2 SETTORE 2_T

Il settore 2_T si colloca nella zona centrale dell'area di studio e presenta una lunghezza di circa 245 m per un'altezza che cresce da sud verso nord fino a raggiungere i 50 m. Buona parte dell'originaria parete di tufo è stata modificata dall'attività antropica, infatti nell'area

si rinvengono almeno due ordini di muri di contenimento posti sul lato di sovrascarpa delle strade denominate via G.B. Liguori, via Angelo Cosenza e, infine via Caruso. Solo l'ultima parete incombe direttamente sul lungomare e risulta poco fratturata (fratture ad andamento subverticale molto persistenti), con nessuna evidenza di nicchie di frane da crollo recenti (cfr. Figura. 2.2.1).

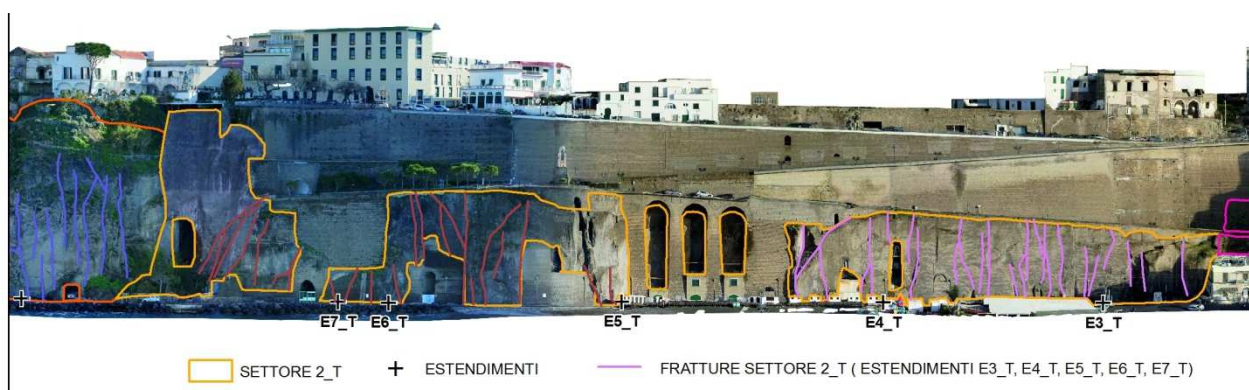


Figura 2.2.1

Nel settore 2_T sono stati realizzati 5 estendimenti (E3_T, E4_T, E5_T, E6_T, E7_T) e, pertanto, le fratture complessive misurate e catalogate (n° 47) secondo la relativa giacitura sono illustrate nella tabella 2.2.1.

NUMERO	GIACITURA	
	Azimuth di immersione	Inclinazione
1	75	95
2	80	20
3	75	15
4	85	15
5	70	20
6	85	20
7	85	20
8	85	345
9	85	215
10	85	330

PIANO URBANISTICO TERRITORIALE № 1 - META (NA)
RELAZIONE GEOSTRUTTURALE
Dott. Geol. Francesco RUOCCO* - Dott. Geol. Giuseppe DI CRESCENZO[^]

11	80	210
12	75	200
13	70	180
14	80	190
15	80	200
16	75	210
17	70	220
18	80	80
19	85	80
20	80	90
21	70	90
22	80	20
23	85	30
24	80	40
25	70	45
26	80	110
27	85	140
28	80	315
29	85	30
30	80	210
31	80	30
32	80	40
33	85	10
34	75	240
35	30	60
36	73	240
37	70	190
38	70	20
39	70	190
40	70	170
41	70	160
42	85	30
43	80	30
44	80	30
45	80	210
46	75	215
47	80	220

Tabella 2.1.1: Numero di identificazione e giacitura delle fratture rilevate.

Anche per questo settore le orientazioni delle discontinuità rilevate con lo studio alla mesoscala (estendimenti) e alla macroscala sono confluite su diagrammi polari (proiezione equiareale) che hanno permesso di individuare le ciclografiche rappresentative delle famiglie principali (cfr. Figure 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4 e 2.2.5). Tale risultato è stato ottenuto mediante l'utilizzo di un software dedicato quale DIPS della Rockscience.

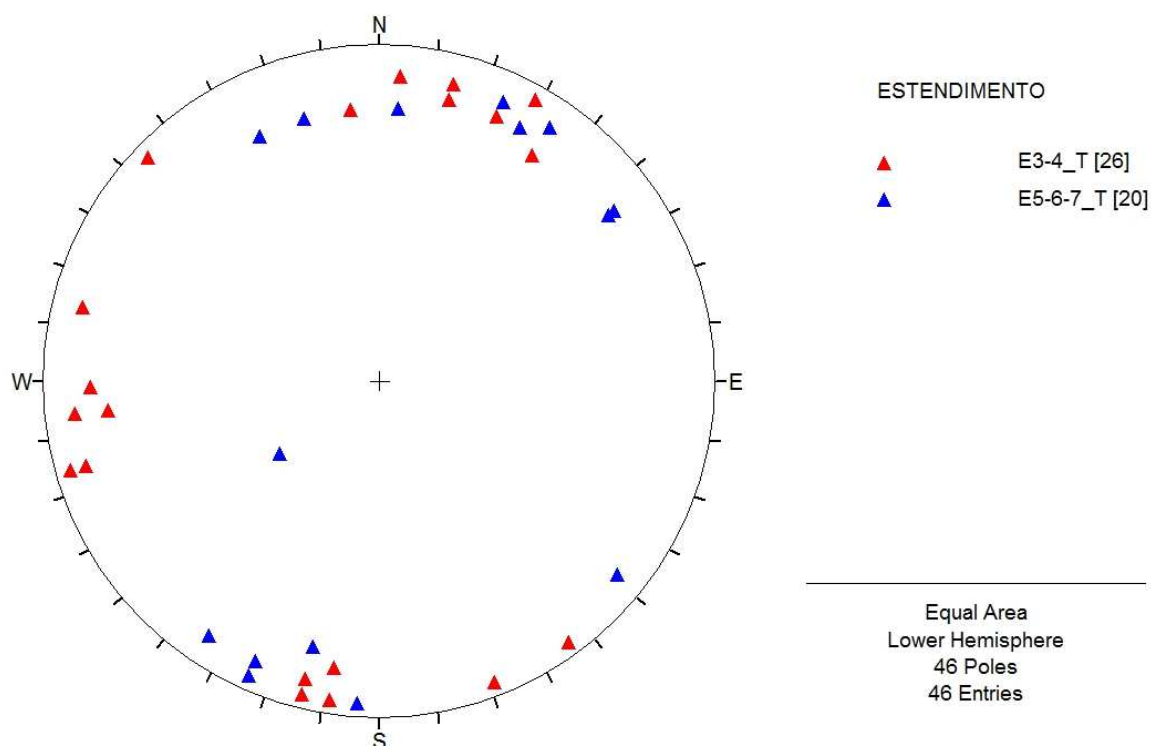


Figura 2.2.2: Diagramma polare con discontinuità distinte per estendimento ricadente nel settore 2_T

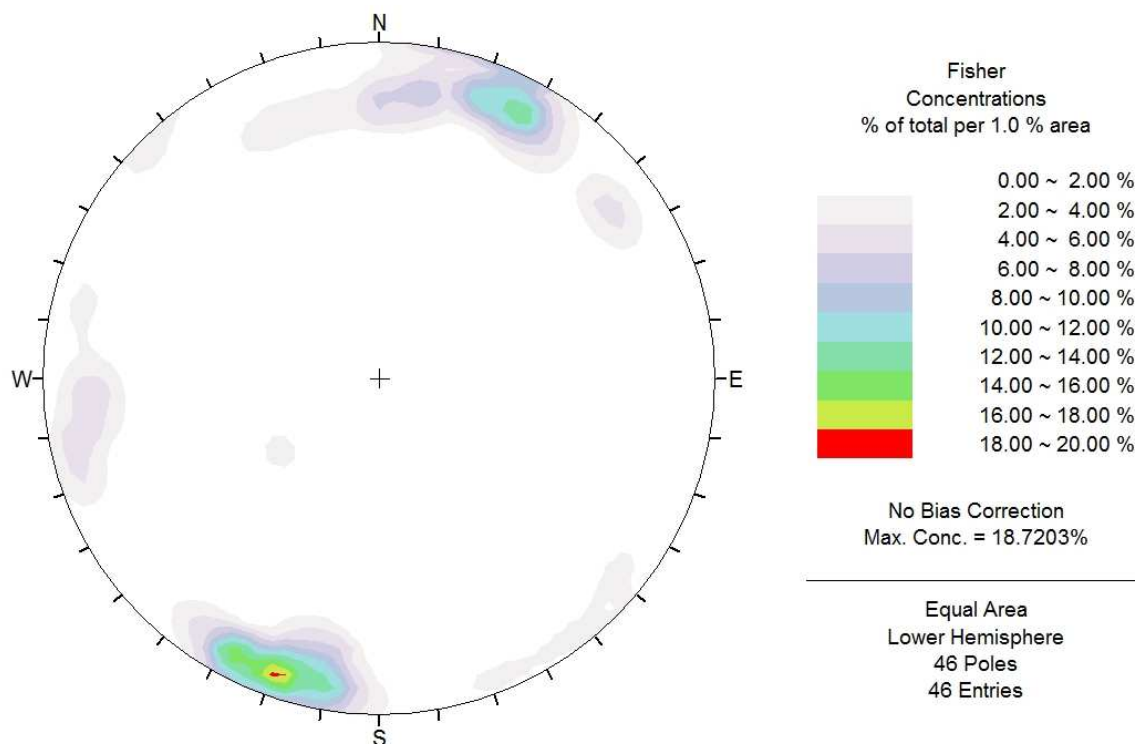


Figura 2.2.3: Diagramma delle isodense secondo Fisher (settore 2_T)

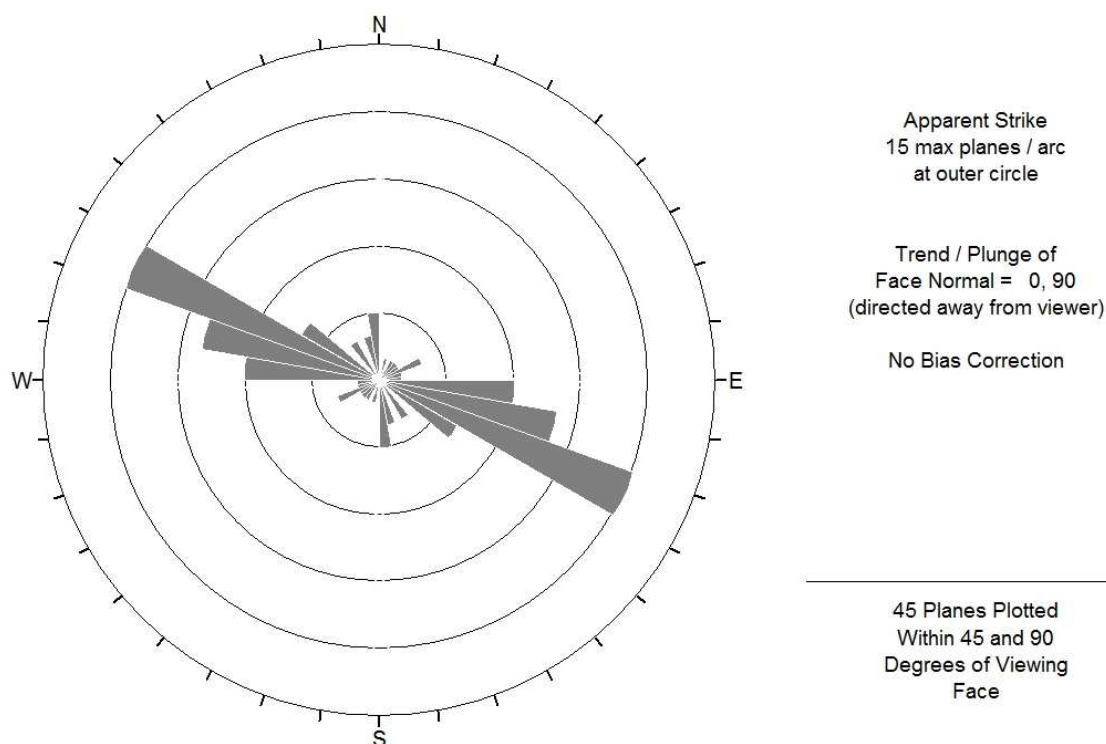


Figura 2.2.4: Diagramma a rosetta (settore 2_T)

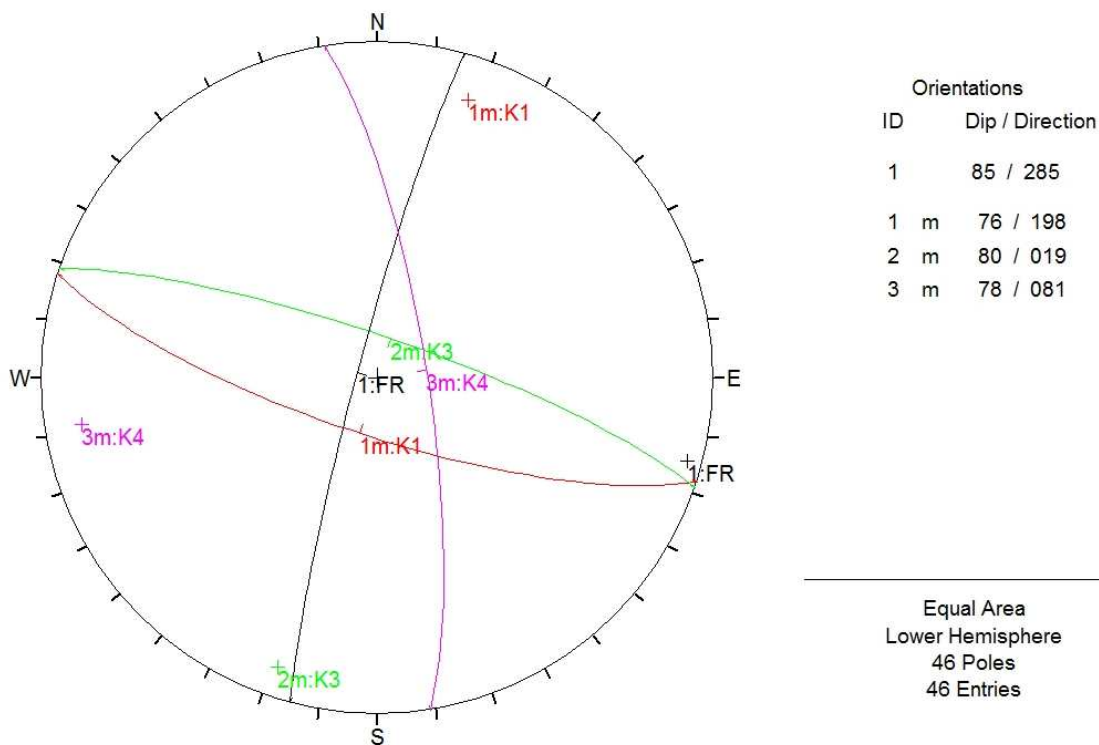


Figura 2.2.5: Diagramma con indicazione delle famiglie di discontinuità principali riscontrate nel settore 2_T

L'orientazione delle famiglie di discontinuità principali individuate rispetto all'orientazione media del fronte hanno permesso di evidenziare le possibili tipologie di frane da crollo (cfr. Figura 2.2.6) secondo l'approccio proposto da Moon et al. (2001).

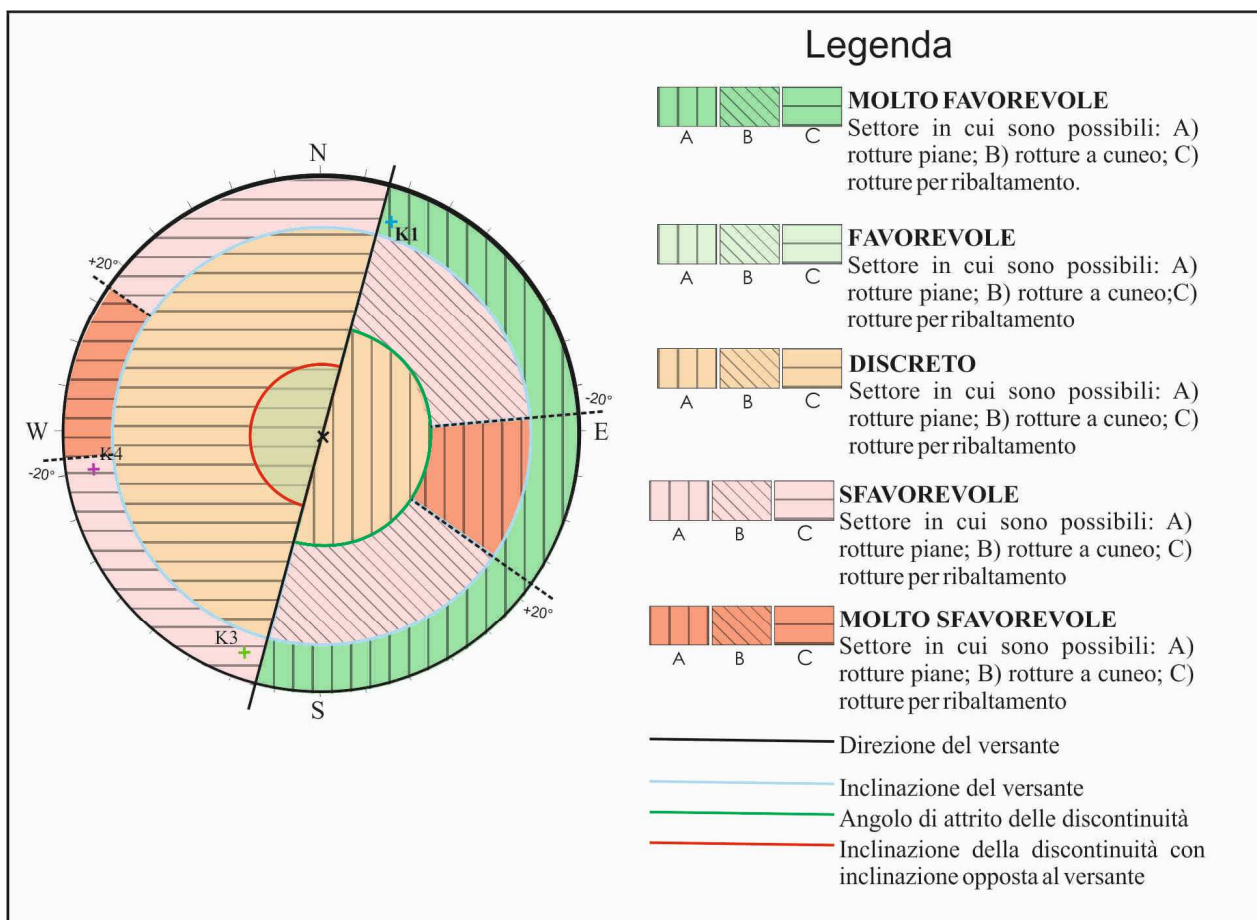


Figura 2.2.6: Test di Moon et al. (2001) per gli estendimenti E3-E4-E6-E7 del settore 2_T

I risultati finali di tali elaborazioni sono sintetizzati nella seguente tabella:

Settore	Estendimenti	ribaltamento	scivolamento planare	scivolamento di cunei
2_T	E3_T, E4_T, E6_T, E7_T	K4 (78/081) K3 (80/019)	-	-

Tabella 2.2.2: Sintesi dei cinematismi elaborati con il test di Moon et al.

2.3 SETTORE 3_T

Il settore 3_T è posizionato sul margine settentrionale dell'area di studio laddove il tufo scompare al di sotto del materiale detritico di età pleistocenica. La falesia presenta una lunghezza di circa 50 m e raggiunge un'altezza di 48 m. Morfologicamente il settore è

caratterizzato da una parete basale subverticale alta circa 20-25 m e da un tratto a più bassa acclività che collega al pianoro sommitale. La parete di base è impostata in tufo mentre la parte superiore è costituita da piroclastiti sciolte che in parte nascondono il substrato tufaceo sottostante.

L'ammasso tufaceo risulta molto fratturato (fratture ad andamento subverticale molto persistenti), con numerose evidenze di nicchie di frane da crollo e porzioni di roccia aggettanti (*cf. Figura 2.3.1*). Quest'area è stata oggetto localmente di sistemazione mediante rete addossata metallica ancorata e da un intervento di ingegneria naturalistica di dubbia efficacia atto a contenere la progressiva erosione concentrata del materiale piroclastico sciolto sommitale.

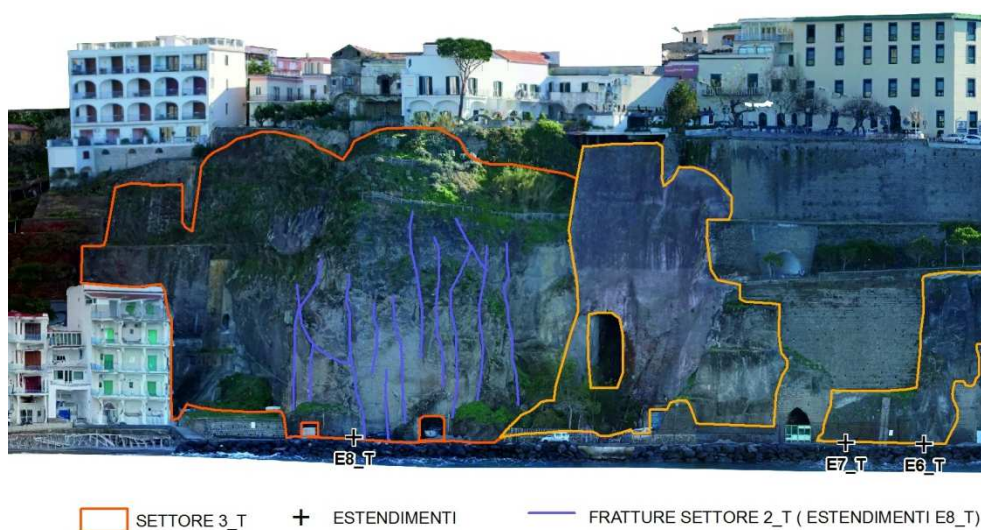


Figura 2.3.1

Nel settore 3_T è stato realizzata un solo estendimento (E8_T) e, pertanto, le fratture complessive misurate e catalogate (n° 15) secondo la relativa giacitura sono illustrate nella tabella 2.3.1.

NUMERO	GIACITURA	
	Azimuth di immersione	Inclinazione
1	70	158
2	75	140
3	80	310
4	65	130
5	60	160
6	80	335
7	75	130
8	75	20
9	80	170
10	75	255
11	50	265
12	80	15
13	85	20
14	80	30
15	70	40

Tabella 2.3.1: Numero di identificazione e giacitura delle fratture rilevate.

L'orientazione delle discontinuità rilevate sono confluite, mediante l'utilizzo di un software dedicato quale DIPS della Rockscience, su diagrammi polari (proiezione equiareale) che hanno permesso di individuare le ciclografiche rappresentative delle famiglie principali (*cfr. Figure 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4 e 2.3.5*).

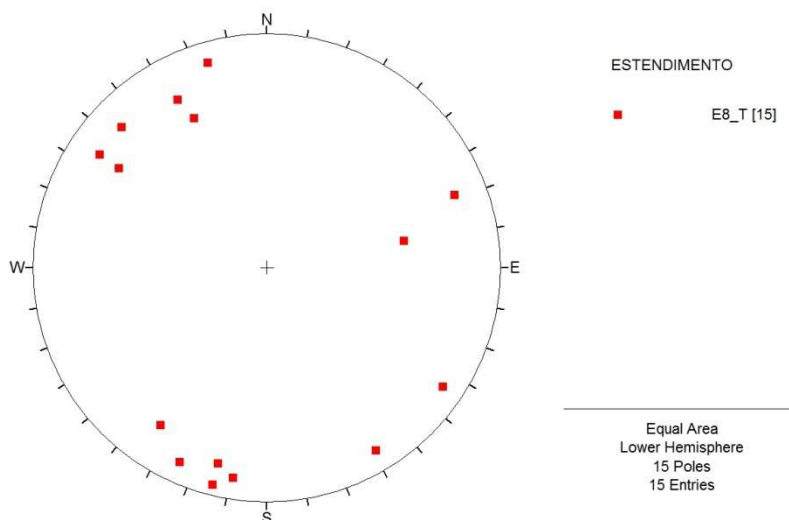


Figura 2.3.2: Diagramma polare con discontinuità distinte per estendimento ricadente nel settore 3_T

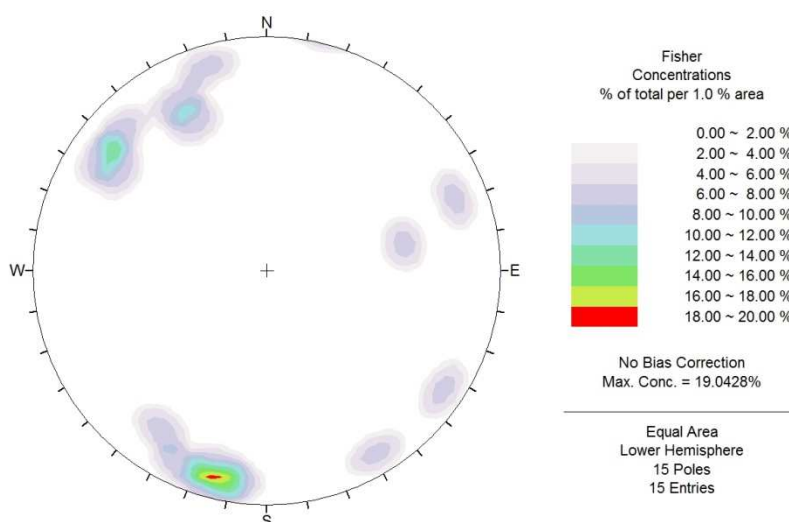


Figura 2.3.3: Diagramma delle isodense secondo Fisher (settore 3_T)

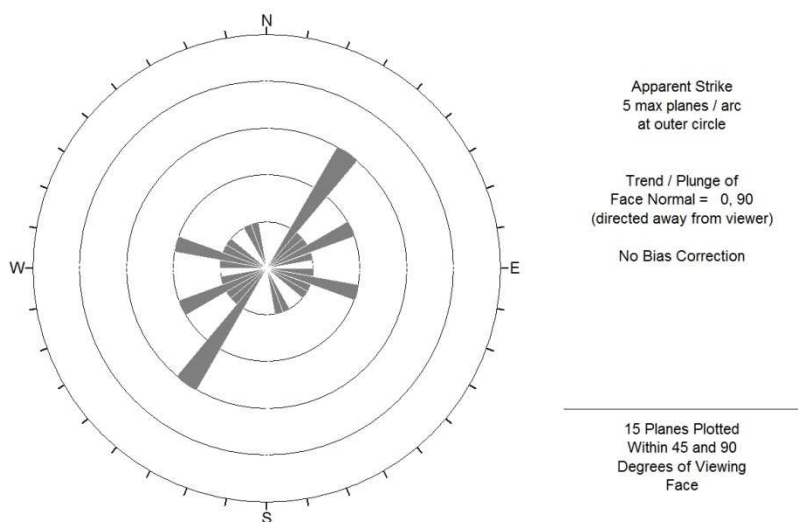


Figura 2.3.3: Diagramma delle isodense secondo Fisher (settore 3_T)

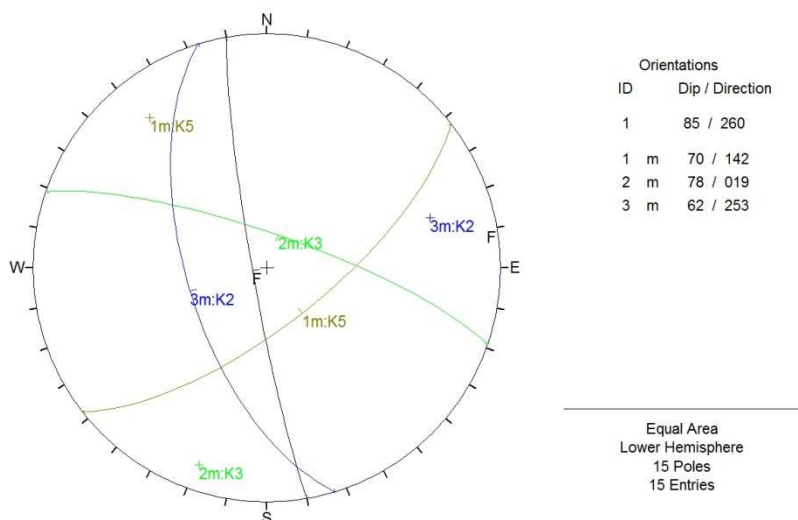


Figura 2.3.5: Diagramma con indicazione delle famiglie di discontinuità principali riscontrate nel settore 3_T

Lo studio dell'orientazione dei sistemi di discontinuità individuati rispetto all'orientazione del fronte ha permesso di risalire alle instabilità potenziali (cfr. Figura 2.3.6) mediante l'approccio proposto da Moon et al. (2001).

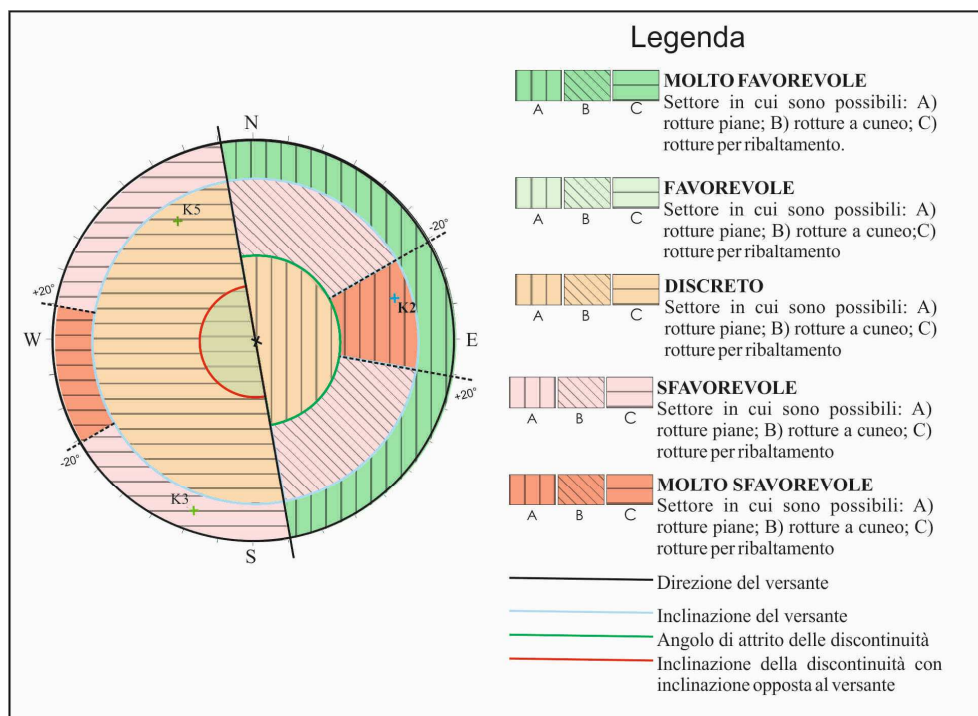


Figura 2.3.6: Test di Moon et al. (2001) per gli estendimenti E8 del settore 3_T

I risultati finali di tali elaborazioni sono sintetizzati nella seguente tabella.

Settore	Estendimenti	ribaltamento	scivolamento planare	scivolamento di cunei
3_T	E8 -T	K3 (78/019) K5 (70/142)	K2 (62/253)	

Tabella 2.3.2: Sintesi dei cinematismi elaborati con il test di Moon et al.

2.4 SETTORE 1_C

Sull'area più settentrionale del PUA incombe un versante roccioso con un'energia di rilievo pari a circa 150 m e con un angolo di inclinazione media di circa 80°. Esso è costituito da una grande parete subverticale basale con tratti aggettanti di varia altezza e una zona sommitale con una successione di cornici calcaree separate da gradini (piani o superfici di strato) localmente ricoperte da una copertura di materiale detritico-piroclastico (cfr. Figura 2.4.1).

L'ammasso roccioso appare ben stratificato con azimuth di immersione $340\div 355/10\div 15$. Tale assetto risulta monotono ed è possibile scorgere testate di strato anche metriche e spesso aggettanti.

I dati raccolti sono stati prima inseriti su un ortofoto frontale dimensionata che ha permesso di allestire una serie di elaborati (*cf. Tavola 14 – Carta geolitologica frontale, Tavola 15 – Carta geomorfologica frontale, Tavola 16 – Carta geostrutturale frontale*) che, con l'integrazione del seguente studio geostrutturale, ha portato alla redazione della *Tavola 17 – Carta della stabilità frontale*.

In generale l'ammasso roccioso si presenta da mediamente a molto fratturato con un grado di carsificazione particolarmente spinto in alcuni settori laddove si rinvencono sgrottamenti e fratture-faglie beanti con evidenze soggetti a intensi processi di alterazione chimica.

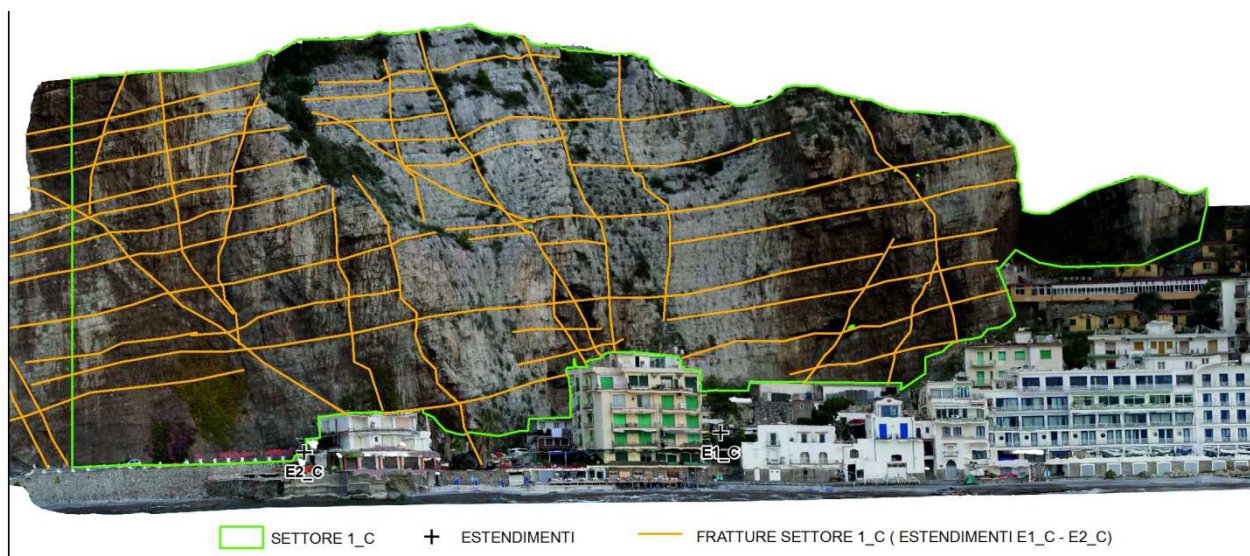


Figura 2.4.1

Le faglie e/o discontinuità principali rilevate sugli estendimenti E1_C e E2_C sono 53 e di ognuna di esse è stata rilevata la giacitura (*cf. Tabella 2.4.1*) con restituzione su diagramma polare (*cf. Figure 2.4.2, 2.4.3, 2.4.3 e 2.4.4*).

PIANO URBANISTICO TERRITORIALE № 1 - META (NA)
RELAZIONE GEOSTRUTTURALE
Dott. Geol. Francesco RUOCCO* - Dott. Geol. Giuseppe DI CRESCENZO[^]

NUMERO	GIACITURA	
	Azimuth di immersione	Inclinazione
1	75	195
2	60	12
3	55	98
4	60	260
5	85	80
6	45	80
7	50	355
8	70	47
9	55	355
10	15	98
11	60	31
12	60	358
13	60	8
14	70	8
15	65	8
16	70	170
17	35	90
18	70	180
19	68	175
20	65	170
21	71	185
22	72	175
23	80	172
24	85	181
25	80	178
26	75	198

PIANO URBANISTICO TERRITORIALE № 1 - META (NA)
RELAZIONE GEOSTRUTTURALE
Dott. Geol. Francesco RUOCCO* - Dott. Geol. Giuseppe DI CRESCENZO[^]

27	78	165
28	75	160
29	62	260
30	60	255
31	67	260
32	70	270
33	70	265
34	72	262
35	80	280
36	75	275
37	82	278
38	76	276
39	65	10
40	70	12
41	75	15
42	70	5
43	75	8
44	80	15
45	72	12
46	85	85
47	80	100
48	85	92
49	82	98
50	78	92
51	80	90
52	75	95
53	75	98

Tabella 2.4.1: Numero di identificazione e giacitura delle fratture rilevate.

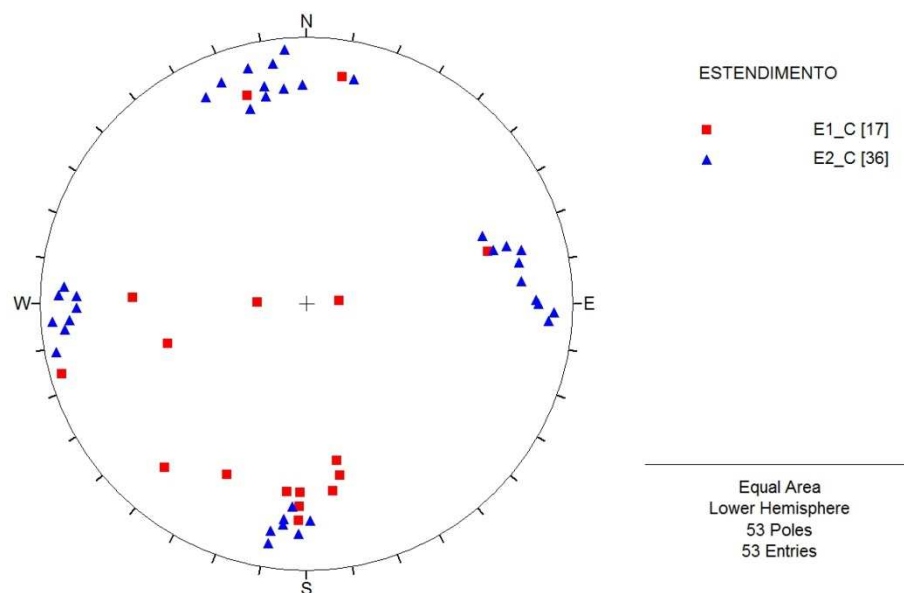


Figura 2.4.2: Diagramma polare con discontinuità distinte per estendimento ricadente nel settore 1_C

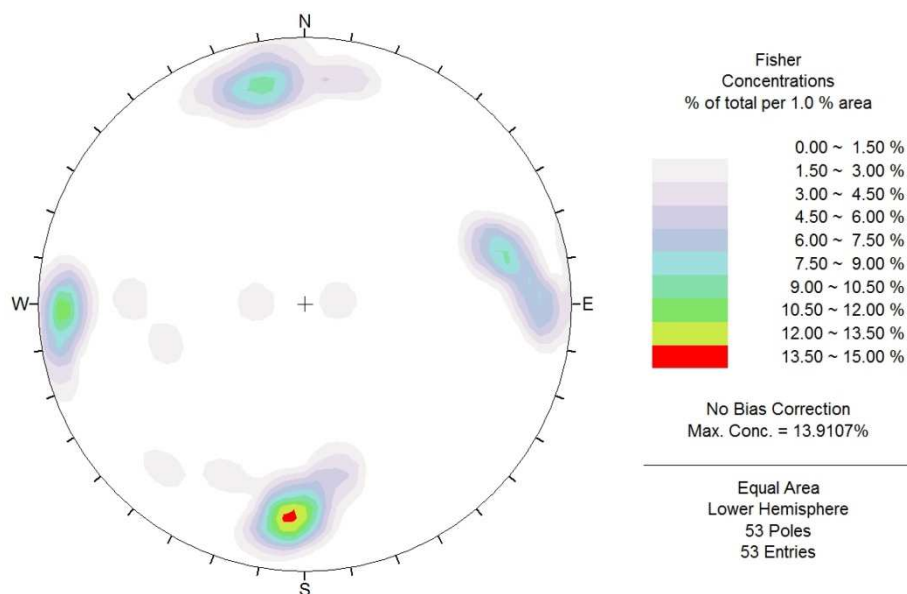


Figura 2.4.3: Diagramma delle isodense secondo Fisher (settore 1_C)

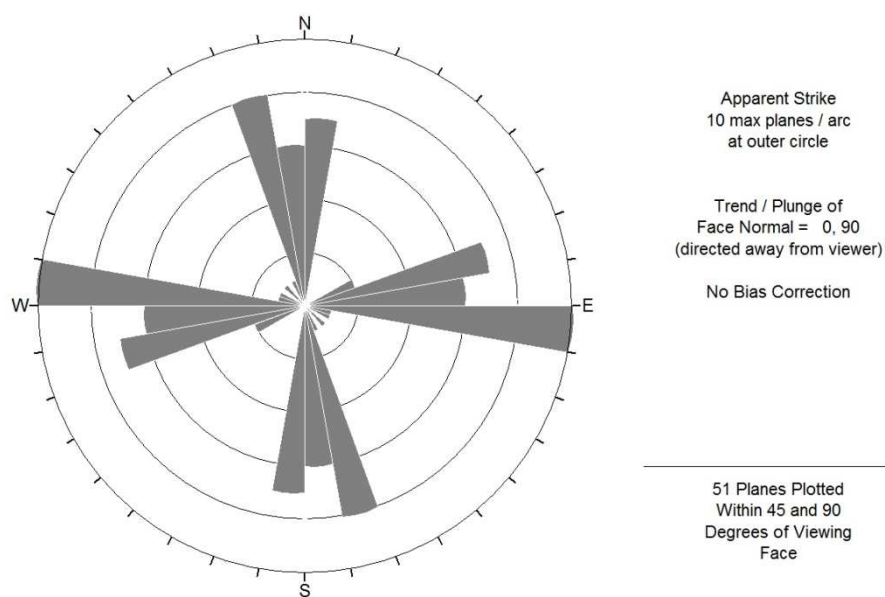


Figura 2.4.3: Diagramma delle isodense secondo Fisher (settore 1_C)

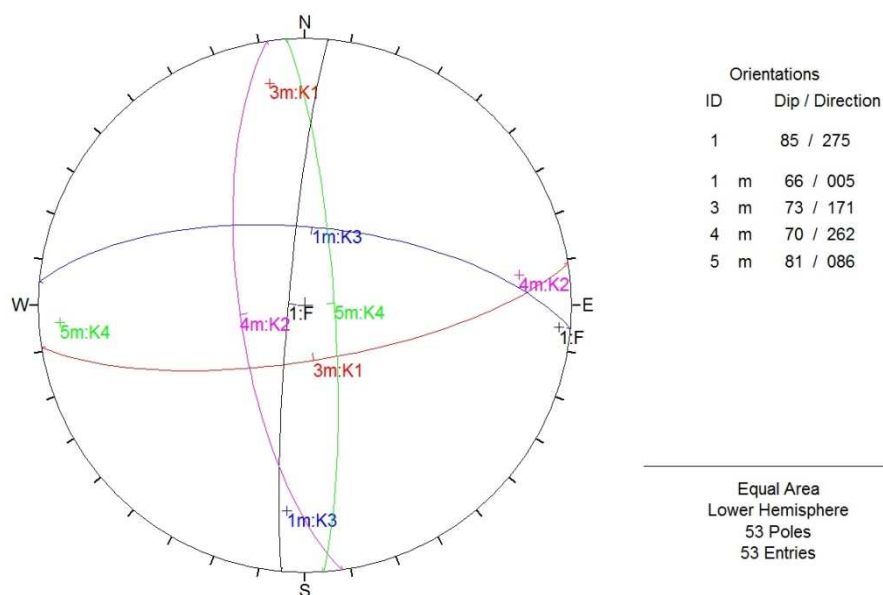


Figura 2.4.5: Diagramma con indicazione delle famiglie di discontinuità principali riscontrate nel settore 1_C

L'incrocio e la posizione geometrica reciproca dei vari sistemi di discontinuità rilevati crea diverse condizioni di svincolo che favoriscono il distacco di blocchi di roccia come del resto testimoniato dalla presenza di numerose nicchie di distacco. Si tratta il più delle volte di fenomeni di crollo puro (overhang fall) che si manifestano in

corrispondenza di porzioni di strati aggettanti ovvero scorrimenti di cunei di roccia lungo linee di intersezione di alcune delle famiglie di discontinuità individuate. I volumi di roccia mobilizzabili valutati in funzione della dimensione delle zone di distacco variano dai pochi decimetri cubici ad alcuni metri cubi.

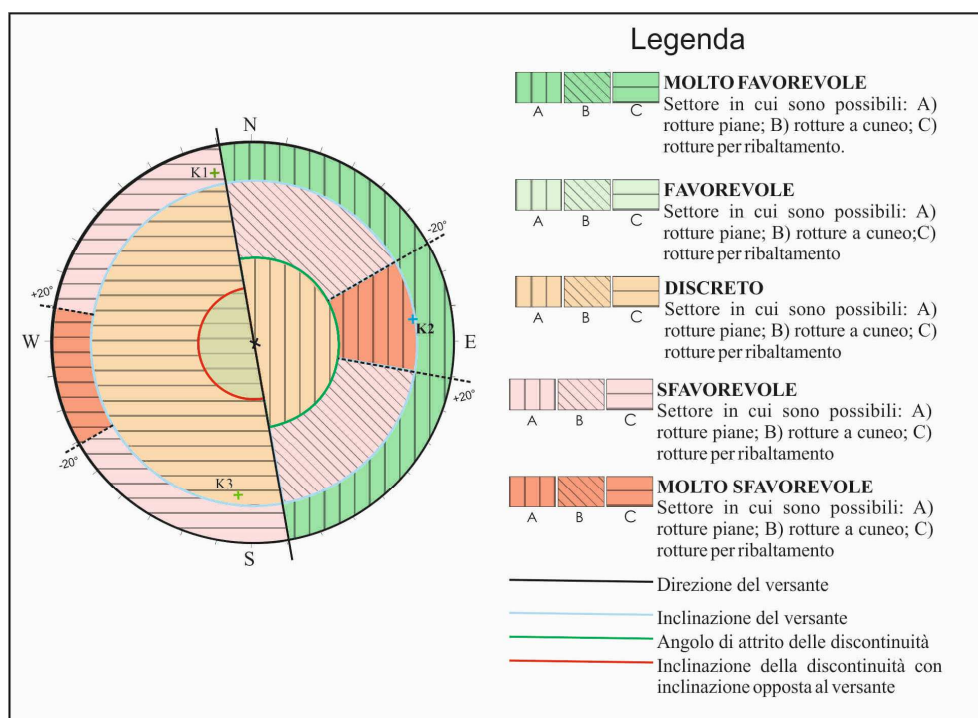


Figura 2.4.6: Test di Moon et al. (2001) per gli estendimenti E1_C e E2_C del settore 1_C

Lo studio dell'orientazione dei sistemi di discontinuità individuati rispetto all'orientazione del fronte ha permesso di risalire alle instabilità potenziali (cfr. Figura 2.4.6) mediante l'approccio proposto da Moon et al. (2001).

I risultati finali di tali elaborazioni effettuate tramite l'approccio proposto da Moon et al. (2001) sono sintetizzati nella seguente tabella ove vengono indicati le possibili tipologie di frane da crollo e le famiglie sorgenti:

Settore	Estendimenti	ribaltamento	scivolamento planare	scivolamento di cunei
1_C	E1 -C, E2_C	K1 (73/171) K3 (63/005)	K2 (70/262)	

Tabella 2.4.2: Sintesi dei cinematismi elaborati con il test di Moon et al.

3. L'RMR SYSTEM DI BIENIAWSKI

La classifica degli ammassi rocciosi RMR, introdotta da Bieniawski nel 1973 e perfezionata in diversi lavori successivi, considera cinque parametri:

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

Ad ognuno dei parametri viene assegnato un punteggio, la cui somma definisce l'RMR di base (cfr. Figura 3.1).

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

Figura 3.1: Schema classificativo dopo Bieniawski, 1979.

A questo valore si somma algebricamente il punteggio relativo ad un sesto parametro, la giacitura delle discontinuità, che viene 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 caso di applicazioni dell'RMR allo studio della stabilità di pendii in roccia viene valutata l'orientazione delle principali famiglie di discontinuità rispetto alla giacitura del versante e a seconda del tipo e numero di dissesti potenzialmente rinvenibili. Si sottrae in pratica al valore di RMR precedentemente calcolato (definito di base) la correzione dovuta all'orientamento del versante che sarà pari, rispettivamente a 0, -5, -25, -50, -60 a seconda che sia *molto favorevole, favorevole, mediocre, sfavorevole e molto sfavorevole* (cfr. Figura 3.1).

3.1 DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE UNIASSIALE TRAMITE PROVA SCLEROMETRICA JCS (R1)

La resistenza a compressione delle pareti delle discontinuità è stata valutata con prove sclerometriche utilizzando il “martello di Schmidt” (cfr. Foto n° 3.1.1).



Foto n° 3.1.1: Prove sclerometrica.

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 (r) delle 5 letture più alte. Il valore di resistenza a compressione si ottiene tramite il grafico di correlazione (*cf. Figura 3.1.2*) 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 .

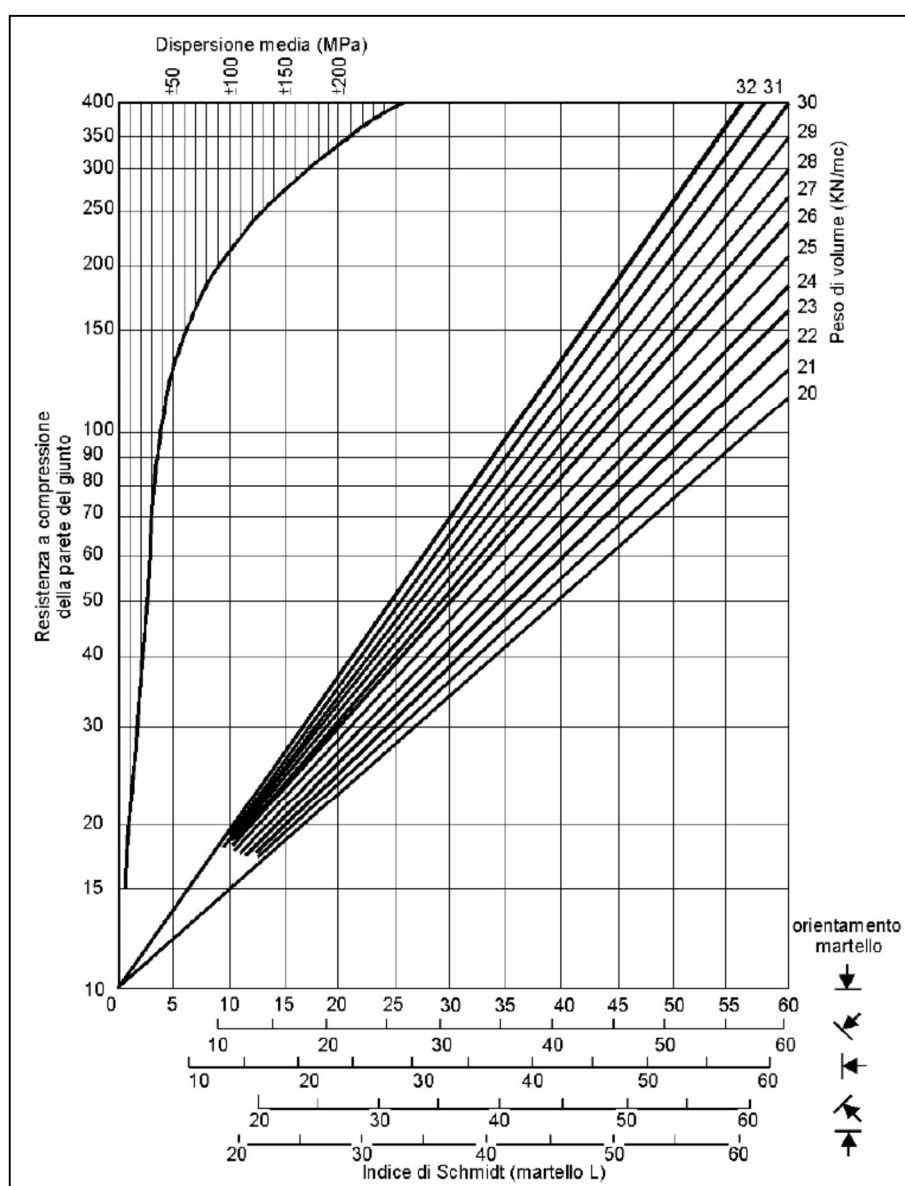


Figura 3.1.2: Grafico di correlazione per il calcolo della resistenza a compressione uniaassiale.

Adottando un valore della densità della roccia di 2,67 t/m³ per il calcare e di 1.4 per il tufo è stata determinata la resistenza a compressione delle famiglie di discontinuità presenti nei punti in cui sono stati effettuati gli estendimenti (scanlines) dopo aver corretto il valore medio di (r) nel caso in cui lo sclerometro non era orientato dall'alto verso il basso. In tal modo sono stati ricavati i valori di resistenza a compressione medi per il tufo (*cf. Tabella 3.1.1*) e per il calcare (*cf. Tabella 3.1.2*) adottati successivamente per la determinazione dell'indice di RMR.

№ SETTORE	№ STENDIMENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R	Coef. correttivo	R corretto	JCS (Mpa)	JCS MEDIO (Mpa)
SETTORE 1_T	1_T	16	16	16	17	17	17	17	18	19	20	18.2	-3.2	15.0	15.1	14.8
	2_T	13	14	14	15	15	15	16	16	16	19	16.4	-3.2	13.2	14.4	
	2_T	16	16	16	16	17	17	17	18	18	18	17.6	-3.2	14.4	14.8	
SETTORE 2_T	3_T	14	15	16	16	16	16	16	18	18	18	17.2	-3.2	14.0	14.7	14.6
	4_T	13	15	15	15	15	15	16	16	16	20	16.6	-3.2	13.4	14.5	
	5_T	13	14	14	16	16	16	16	16	18	18	16.8	-3.2	13.6	14.5	
	5_T	14	14	15	16	16	16	16	16	18	18	16.8	-3.2	13.6	14.5	
	6_T	14	15	15	16	16	16	16	17	18	18	17	-3.2	13.8	14.6	
	7_T	14	15	16	16	16	16	16	18	18	18	17.2	-3.2	14.0	14.7	
	8_T	14	14	15	16	16	16	16	17	17	18	16.8	-3.2	13.6	14.5	

Tabella 3.1.1: Resistenza a compressione del tufo determinata tramite prove sclerometriche.

SETTORE	№ STENDIMENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	R	Coeff. correttivo	R corretto	JCS (Mpa)	JCS MEDIO (Mpa)
SETTORE 1_C	1_C	22	30	36	37	42	45	47	50	54	56	50.4	-2.2	48.2	133.4	157.3
	1_C	28	32	43	47	50	50	51	53	55	58	53.4	-2.1	51.3	157.3	
	2_C	36	40	44	51	53	54	56	56	56	58	56	-2.0	54.0	181.4	

Tabella 3.1.2: Resistenza a compressione del calcare determinata tramite prove sclerometriche.

I risultati delle analisi mostrano che i tufi possono essere classificati come rocce con resistenza bassa mentre i calcari alta (ISRM, 1979) (cfr. Figura 3.1.3).

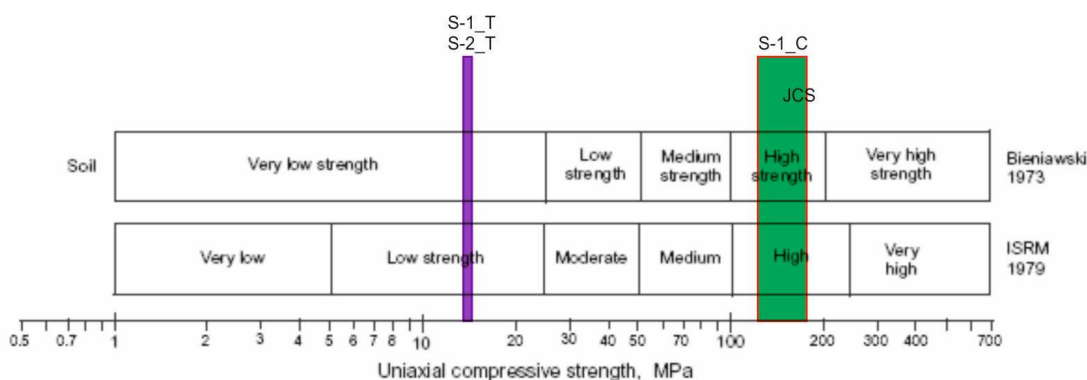


Figura 3.1.3: Classificazione delle rocce tufacee e calcaree sulla base della resistenza a compressione uniassiale.

3.2 INDICE RQD (R2)

È stato calcolato 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.

I valori così calcolati sono sintetizzati in tabella 3.2.1.

Sulla base dei valori di RQD così calcolati l'ammasso roccioso può essere classificato sulla base della qualità dell'ammasso secondo la classificazione di Deere (1963) (cfr. Tabella 3.2.1).

Estendimenti	E1_T	E2_T	E3_T	E4_T	E5_T	E6_T	E7_T	E8_T	E1_C	E2_C
Numero medio discont. per metro	27.22	9.65	15.16	8.13	6.00	5.00	3.85	18.27	26.85	17.00
RQD (Priest & Hudson, 1976)	24	75	55	80	88	91	94	45	25	49
Qualità ammasso (Deere, 1963)	Molto scadente	Buona	Discreta	Buona	Ottima	Ottima	Ottima	Ottima	Scadente	Scadente

Tabella 3.2.1: Valori di RQD calcolati sulla base delle discontinuità rilevate e delle relative spaziatore medie per gli estendimenti realizzati in tufo e in calcare.

3.3 SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ (R3)

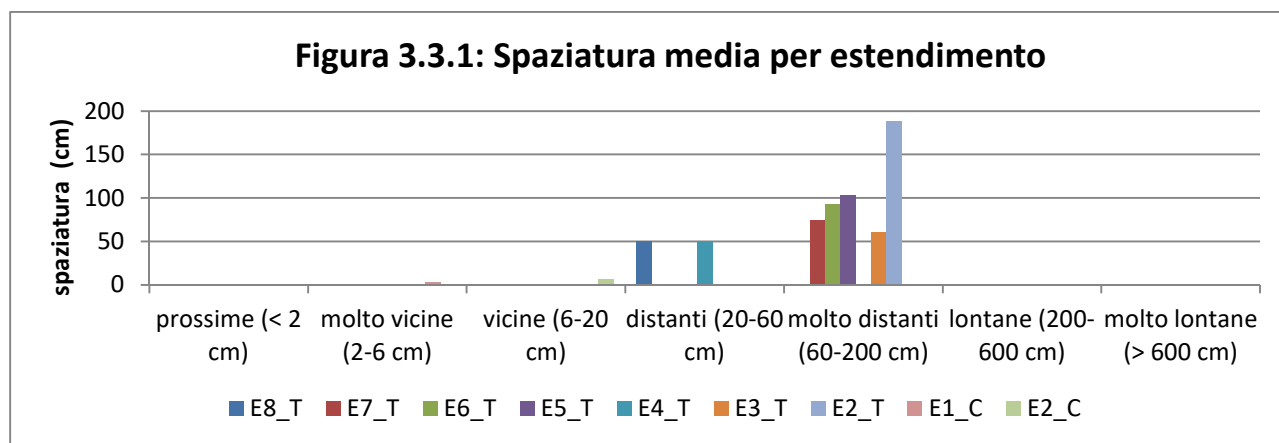
I valori di spaziatore, misurati per ciascun sistema di discontinuità, sono stati elaborati statisticamente, al fine di determinare il valore modale tramite istogrammi. I dati sono stati divisi in classi scelte attraverso la relazione:

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

dove N è il numero di dati.

Per la spaziatore sono state prese in considerazione anche le classi suggerite dall'I.S.R.M (1978).

Una sintesi dei dati di spaziatore è mostrata nella seguente *Figura 3.3.1*.



3.4 CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITÀ (R4)

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 (cfr. Figura 3.4.1).

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

da Bieniawski, 1989

Figura 3.4.1: Schema di classificazione delle condizioni delle discontinuità.

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 le rispettive terminazioni.

Questo ha consentito di calcolare l'indice di terminazione Tr tramite la relazione:

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

Un basso valore dell'indice indica che l'ammasso roccioso è deformabile e non particolarmente resistente con blocchi distinti.

APERTURA

L'apertura è la distanza perpendicolare che separa le pareti di una discontinuità. Per la misura di tale fattore è stata fatta una stima visiva utilizzando un calibro. Anche in questo caso è stata fatta una analisi statistica dei dati raccolti *in primis* per ogni singola famiglia di discontinuità e poi per la stazione di misura.

SCABREZZA

La scabrezza è la rugosità delle superfici affacciate di una discontinuità e l'ondulazione rispetto al piano medio delle stesse. L'irregolarità delle superfici di discontinuità è stata determinata con il pettine di Barton (*cf. Foto n° 3.4.1*) confrontando i profili di rugosità con quelli suggeriti dall'I.S.R.M (*cf. Figura 3.4.4*).



Foto n° 3.4.1: Pettine di Barton.

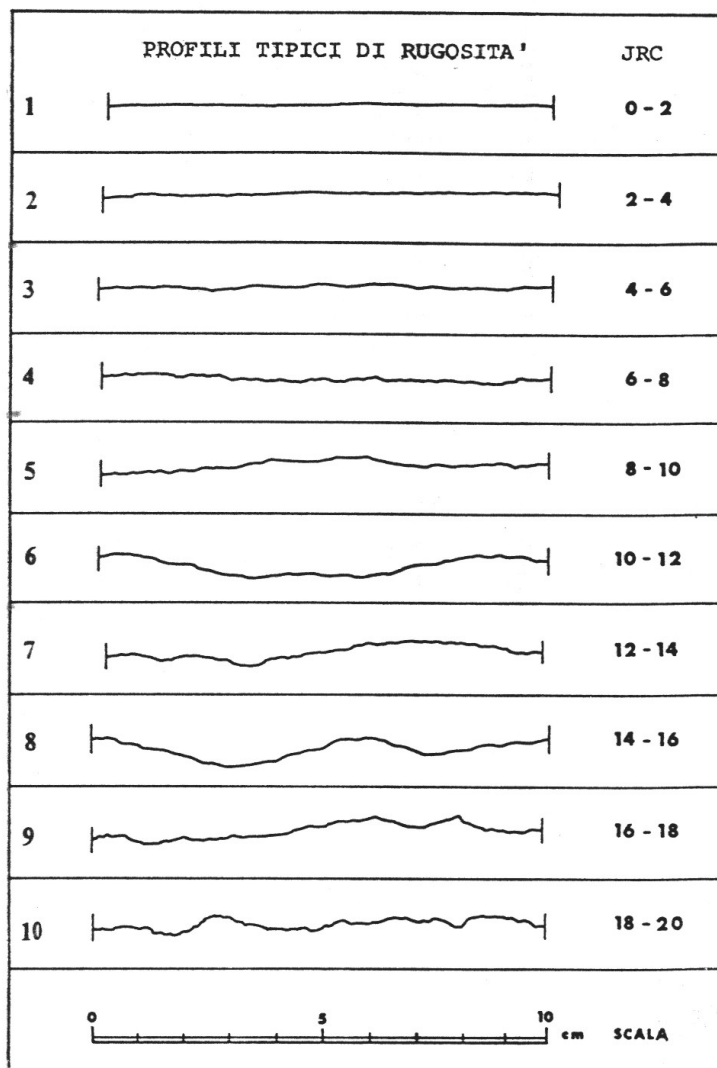


Figura 3.4.4: Profili di rugosità di riferimento.

RIEMPIMENTO

Il riempimento indica il materiale che separa i labbri adiacenti delle discontinuità: per esempio calcite, argilla, limo breccia ecc.. Esso è stato differenziato secondo quanto segue:

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

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. In pratica l'indice di RMR assegnato varia da leggermente a molto alterato a secondo dello stendimento considerato.

3.5 CONDIZIONI IDRAULICHE (R5)

E' stato considerato un indice pari a 15 corrispondente alla roccia asciutta come si è potuto rilevare al momento del rilievo.

4. DETERMINAZIONE DEL RMR DI BASE: CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI

Ad ognuno dei parametri sopra esposti è stato assegnato un indice in base alla figura 3.1. La somma dei cinque indici ha consentito di calcolare il valore del RMR di base per ogni estendimento realizzato nell'ammasso tufaceo e calcareo (*cfr. Tabelle 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4*).

PARAMETRI	Rating per stendimento							
	E1_T	E2_T	E3_T	E4_T	E5_T	E6_T	E7_T	E8_T
R1) RESISTENZA A COMPRESSIONE E (Mpa)	2	2	2	2	2	2	2	2
R2) RQD (%)	3	15	15	17	17	20	20	6
R3) SPAZIATURA DISCONTINUITA' A' (mm)	15	15	10	10	15	15	15	10
R4) CONDIZIONI DISCONTINUITA' A'	4	15	16	15	16	16	16	4
R5) CONDIZIONI IDRAULICHE	15	15	15	15	15	15	15	15
RMR BASE	39	60	56	59	65	68	68	39
Classe di competenza	IV Scadente	III Mediocre	III Mediocre	III Mediocre	II Buona	II Buona	II Buona	IV Scadente

Tabella 4.1: valori degli indici assegnati per gli estendimenti realizzati nella roccia tufacea

CONDIZIONI DISCONTINUITA'	Rating per stendimento							
	E1_T	E2_T	E3_T	E4_T	E5_T	E6_T	E7_T	E8_T
PERSISTENZA (m)	3	3	3	3	3	3	3	3
APERTURA (mm)	0	1	1	1	1	1	1	0
SCABREZZA (JRC)	1	5	5	5	5	5	5	1
RIEMPIMENTO	0	6	6	6	6	6	6	0
ALTERAZIONE	0	0	1	0	1	1	1	0
Rating totale	4	15	16	15	16	16	16	4

Tabella 4.2: Indici delle condizioni delle discontinuità per estendimento nelle rocce tufacee

PARAMETRI	Rating per stendimento	
	E1_C	E2_C
R1) RESISTENZA A COMPRESSIONE (Mpa)	12	12
R2) RQD (%)	3	8
R3) SPAZIATURA DISCONTINUITA' (mm)	8	8
R4) CONDIZIONI DISCONTINUITA'	4	15
R5) CONDIZIONI IDRAULICHE	16	14
RMR BASE	54	57
Classe di competenza	III Mediocre	III Mediocre

Tabella 4.3: Valori degli indici assegnati per gli estendimenti in roccia calcarea

CONDIZIONI DISCONTINUITÀ	Rating per stendimento	
	E1_C	E2_C
PERSISTENZA (m)	3	3
APERTURA (mm)	4	4
SCABREZZA (JRC)	3	1
RIEMPIMENTO	6	6
ALTERAZIONE	0	0
Rating totale	16	14

Tabella 4.4: Indici delle condizione delle discontinuità per estendimento nelle rocce calcaree

Dal valore del RMR di base è possibile stimare, tramite delle semplici formule empiriche fornite da Bieniawski (1979) la coesione c_m , l'angolo di attrito φ_m dell'ammasso roccioso nonché il modulo di deformazione E con la relazione di Serafin-Pereira (1983) valida per valori di $RMR < 85$:

$$c_m = (5 \text{ RMR})/1000;$$

$$\varphi_m = 5 + \text{RMR}/2;$$

$$E = 10^{((\text{RMR} - 10)/40)} = 8,9 \div 10,6 \text{ GPa}$$

I risultati ottenuti sono sintetizzati per singolo estendimento nella seguente tabella 4.5.

	C_m (MPa)	Φ_m (°)	E (GPa)
E1_T	0.20	24.5	5.31
E2_T	0.30	35.0	17.78
E3_T	0.28	33.0	14.13
E4_T	0.30	34.5	16.79
E5_T	0.33	37.5	23.71
E6_T	0.34	39.0	28.18
E7_T	0.34	39.0	28.18
E8_T	0.20	24.5	5.31
E1_C	0.27	32.0	12.59
E2_C	0.29	33.5	14.96

Tabella 4.5: Principali parametri geotecnici ricavati dalla classificazione dell'ammasso roccioso per singolo stendimento.

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente elaborato ha permesso di discretizzare in settori l'intero fronte costiero del PUA1 differenziando in particolare la falesia tufacea. Nell'ambito di ogni settore sono stati integrati i dati scaturiti da un'analisi alla macroscale con quelli alla mesoscale (estendimenti) e successivamente grazie alla loro elaborazione sono state determinate le caratteristiche geomeccaniche e geotecniche più significative.

Tale elaborato rappresenta la base progettuale per la scelta e dimensionamento delle opere di difesa attiva (reti addossate, chiodature e consolidamenti) e passiva (barriere paramassi).

In sintesi la falesia tufacea è stata suddivisa in tre settori cui è stata associato un diverso grado di qualità dell'ammasso roccioso e conseguentemente i principali parametri geotecnici necessari alla progettazione strutturale delle opere di mitigazione del rischio.

Le aree logisticamente inaccessibili perché soggette a interventi di sistemazione che hanno coperto l'ammasso roccioso, rendendo pertanto impossibile l'esecuzione di indagini e rilievi, potranno essere oggetto di una più accurata verifica in una fase studio particolareggiata e circostanziata.

Piano di Sorrento, dicembre 2017

*IL GEOLOGO
Dr. Francesco RUOCCO*