



REMACO - Multi-disciplinary monitoring system for a resilient management of coastal areas



Rilievo geo-strutturale

Febbraio 2024

REMACO - Multi-disciplinary monitoring system for a resilient management of coastal areas

WP 4 - Deliverable 4.4.1

Rilievo geo-strutturale

Partner responsabile:

Università degli Studi di Enna “Kore” - Coord. Prof. V. Lentini

Partner coinvolti:

University of Malta - Coord. Prof. S. D’Amico

1 PREMESSA

Il Progetto “**REMACO** - Multi-disciplinary monitoring system for a resilient management of coastal areas” mira all’integrazione delle reti, specializzandole nel monitoraggio quantitativo dell’erosione costiera e delle inondazioni, introducendo il *know-how* già acquisito per lo sviluppo di sistemi di gestione delle immagini che consente di passare dall’analisi qualitativa a quella quantitativa.

L’approccio metodologico proposto prevede lo studio e l’analisi dei processi di dissesto idrogeologico che interessano e si sviluppano nelle coste alte rocciose. Attualmente non esistono procedure d’indagine ben definite, gli studi esistenti spesso non seguono delle metodologie uniformi, principalmente a causa della carenza di conoscenze e della complessità nella raccolta dei dati sui processi che generano l’erosione costiera. La metodologia proposta si basa su una serie di indagini dirette e indirette che identificano i processi che generano i principali fenomeni erosivi nelle coste alte rocciose.

In particolare, il rilievo geostrutturale ha interessato un tratto di 1 km; il tratto di costa con applicazione del modello di valutazione degli effetti del moto ondoso sulle falesie ha uno sviluppo lineare di 1 km; la superficie di falesia interessata dal sistema di monitoraggio è di 1 km².

2 IL FENOMENO DI ARRETRAMENTO COSTIERO

Negli ultimi anni, la necessità di studiare la dinamica delle coste rocciose in maniera sistematica ed approfondita ha assunto un ruolo significativo nell’ambito della salvaguardia dei territori e per fenomeni di arretramento costiero, allo scopo di tutelare e valorizzare al meglio le valenze naturalistiche, paesaggistiche, culturali e socio-economiche delle nostre località costiere.

Le coste alte (falesie), contrariamente alle coste sabbiose, sono caratterizzate dall’irreversibilità dei processi erosivi, che possono portare

ad arretramenti variabili da pochi centimetri a diversi metri, proprio in relazione alle caratteristiche geologiche e delle dinamiche del tratto costiero considerato. La loro evoluzione è strettamente condizionata dai processi che avvengono all'interfaccia tra l'area costiera, il mare e l'atmosfera.

I meccanismi di attivazione dei processi che portano all'instabilità ed alla modellazione delle coste alte sono, in misura diversa e spesso in compartecipazione, il moto ondoso, l'assetto geostrutturale, la variazione del livello del mare, i venti, gli eventi meteorologici e l'effetto di alterazione provocato dallo spray marino.

La "costa alta" è un litorale formato da rocce lapidee omogenee e/o eterogenee che originano falesie e versanti, generalmente ripidi, privi di spiaggia al piede o di ampiezza ridotta. Comprende quindi falesie e pendii acclivi, formati a causa di processi di ingressione marina dovuti, principalmente, all'innalzamento del livello del mare. I processi erosivi possono dare origine ad una falesia in tempi relativamente rapidi (se il materiale interessato è sufficientemente erodibile). Il processo erosivo può essere schematizzato in quattro fasi: *a)* distacco di massi, lastre o frammenti dalla falesia; *b)* trasporto delle volumetrie lungo il versante; *c)* deposito alla base della scarpata; *d)* rimozione del detrito ad opera del moto ondoso (*Figura 1*).



Figura 1 - Processi di ingressione e gravitativi.

Nel caso delle coste alte di natura rocciosa i principali fattori di rischio sono in stretta connessione alle peculiarità geomorfologiche che si riscontrano, alle unità litologiche costituenti la costa, all'attività geodinamica degli elementi strutturali, nonché alle unità affioranti ed alla loro acclività.

Eventuali cinematismi sono in genere caratterizzati da distacchi di blocchi dalla massa rocciosa e dal loro scoscendimento verso valle, per caduta libera, rimbalzando, rotolando, scivolando o, più spesso, a seconda della litologia del blocco, della sua forma, della morfologia del versante combinando due o più di questi movimenti.

I meccanismi rilevabili risultano pertanto notevolmente influenzati dagli assetti strutturali e dalle configurazioni morfologiche e sono soprattutto riconducibili a ribaltamenti, scorrimenti traslazionali, fenomeni misti erosivi e franosi superficiali (*Figura 2*).

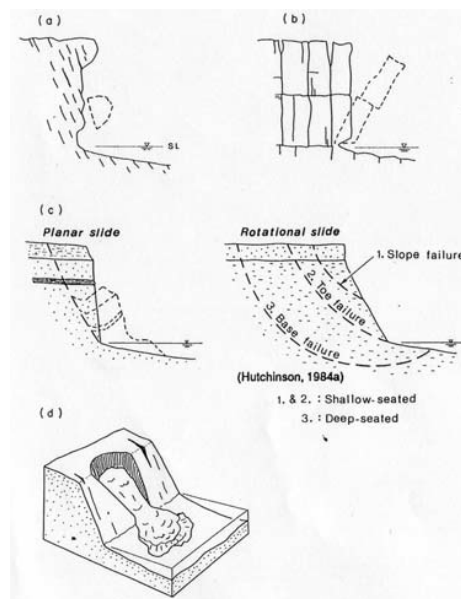


Figura 2 - Movimenti di massa: (a) crolli, (b) ribaltamenti, (c) scorrimenti (Hutchinson, 1984).

A questi cinematismi devono essere aggiunti i fenomeni di crollo dovuti al distacco di volumi rocciosi privi di sostegno al piede e svincola-

ti a tergo ed al tetto da discontinuità sollecitate a trazione (Castelli et al., 1996).

Un corretto approccio di studio presuppone la classificazione del fenomeno e, quindi, la determinazione della geometria della massa instabile, della cinematica pregressa, delle caratteristiche meccaniche della roccia, delle relazioni fra fattori di innesco e spostamenti. Questo quadro di conoscenza è indispensabile per la previsione della evoluzione cinematica del fenomeno (Pappalardo et al., 2016).

Le cause possono essere distinte in strutturali o predisponenti, in genere connesse a fattori geologici, morfologici ed idrogeologici e in occasionali o determinanti (o scatenanti), prevalentemente connesse ai fattori climatici, vegetazionali, antropici ed al manifestarsi di eventi sismici.

Le conoscenze del problema possono essere schematizzate nel modo seguente per quel che riguarda gli aspetti più strettamente analitici:

- le caratteristiche del fenomeno risultano essere influenzate dalle condizioni geologiche, topografiche, idrogeologiche, climatiche, di alterazione e di uso del suolo;
- le analisi di stabilità costituiscono solo una parte, pur rilevante, della valutazione complessiva delle condizioni di stabilità stesse: l'accuratezza dell'analisi dipende infatti dall'accuratezza e dal dettaglio dei dati e delle informazioni raccolte per la definizione dei modelli di partenza (geologico, idrogeologico, topografico e geometrico, geotecnico, meccanico);
- le sollecitazioni prodotte da variazioni del regime delle pressioni interstiziali costituiscono un incremento dello stato tensionale esistente ed influenzano il comportamento della roccia;
- le sollecitazioni dinamiche prodotte da uno scuotimento sismico costituiscono un incremento dello stato tensionale esistente e/o influenzano la resistenza ed il comportamento dell'ammasso;

- la scelta del valore dell'accelerazione sismica di progetto richiede grande attenzione;
- le analisi tensio-deformative possono essere usate per stimare, seppure in modo approssimativo, le deformazioni permanenti causate dalle instabilità inerziali.

Poiché la natura dei fenomeni è di solito molto complessa, per una loro soddisfacente interpretazione è necessario condurre le fasi di studio a partire dalle caratteristiche geomorfologiche dell'area, dal grado di mobilitazione della resistenza dei materiali, dal regime delle pressioni neutre a distanza di tempo e spazio, dalle superfici di discontinuità eventualmente pre - esistenti e dall'assetto strutturale.

Inoltre, l'analisi dei fenomeni deve essere basata su un'affidabile conoscenza delle caratteristiche dell'ammasso roccioso (litologiche e stratigrafiche), nonché di una adeguata caratterizzazione meccanica.

L'azione del moto ondoso ha effetti sia lungo le coste rocciose, sia lungo le coste sabbiose. Contro le coste rocciose, le onde si abbattono con una tale forza da disgregare le rocce. La formazione delle falesie è dovuta a processi di ingressione marina ed a processi gravitativi subaerei. La forma può essere il risultato dell'interazione tra i due fenomeni geomorfologici. Infatti, le onde impattando sulle falesie, provocano il distacco di detriti e di blocchi rocciosi. Questo avviene attraverso fasi di compressione e decompressione sull'aria contenuta nelle fessure e lungo i piani di stratificazione.

Di norma non sono presenti spiagge in questi contesti o comunque limitate a piccole fasce discontinue. In taluni casi si possono formare delle "*pocket beach*" tra due coste alte. In altri casi (per lo più controllati dalla geologia del luogo) il mare alla base agisce con processi di erosione favorendo anche la formazione di anfratti, grotte o archi (*Figura 3*).

L'incessante azione del mare, con lo scorrere del tempo, favorisce i continui cedimenti delle pareti provocando un progressivo ed inesorabile arretramento della falesia. Se alla base sono presenti argille (come, per esempio, nella parte nord dell'arcipelago maltese), il progressivo aumento delle fratture e il relativo arretramento della falesia e' principalmente dovuto all'erosione veloce alla base.

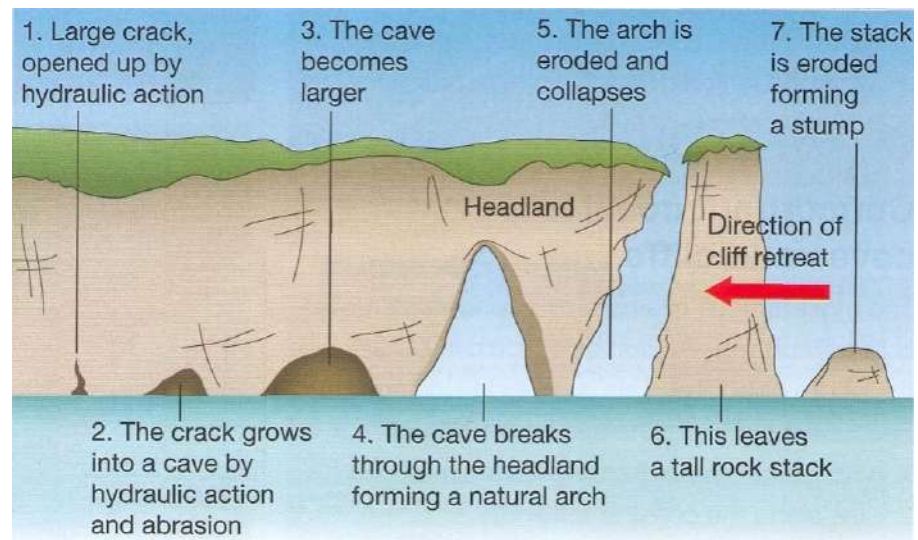


Figura 3 - Esempi di erosione di una costa alta (<http://thebritishgeographer.weebly.com/coasts-of-erosion-and-coasts-of-deposition.html>).

In generale il processo erosivo può essere schematizzato in 4 fasi:

- distacco di massi, lastre o frammenti dalla falesia;
- trasporto del volume di materiale lungo il versante;
- deposito alla base della scarpata;
- rimozione del detrito ad opera del moto ondoso.

Nel caso delle falesie i principali fattori di rischio sono in stretta connessione alle peculiarità geomorfologiche che si riscontrano, alle unità litologiche costituenti la costa, all'attività geodinamica degli elementi strutturali, nonché alle unità affioranti ed alla loro acclività.

3 CAUSE PREDISponentI E CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Le onde impattando sulle rocce generano ed allargano le fratture favorendo il distacco di detriti e di blocchi rocciosi. Il risultato di questi fenomeni di fratturazione è la formazione di una struttura geometrica costituita da matrice lapidea e fratture. L'ammasso roccioso risulta quindi costituito da masse aventi caratteristiche fisico-meccaniche simili (roccia intatta), separate da superfici di discontinuità.

La presenza di discontinuità diminuisce le caratteristiche di resistenza e di deformabilità proprie dell'ammasso roccioso. Tali discontinuità devono essere opportunamente caratterizzate e nello specifico è necessario caratterizzare la loro giacitura, la spaziatura, l'apertura, la rugosità e il materiale di riempimento.

L'identificazione e la classificazione della roccia che costituisce la matrice lapidea avvengono sulla base delle osservazioni e dei risultati delle prove di laboratorio condotte su campioni di roccia dell'ammasso roccioso.

I parametri che generalmente vengono utilizzati per la classificazione quantitativa della roccia sono: resistenza della roccia alla compressione, resistenza dei giunti (point load test), Rock Quality Designation (RQD), scabrezza dei giunti, volume unitario, intercetta, spaziatura dei giunti, apertura dei giunti. Per la loro forte incidenza morfologica, i movimenti franosi si possono ritenere gli agenti principali di modellazione dei versanti costieri.

La componente data dal moto ondoso rappresenta un'azione preponderante e non trascurabile che necessita specifiche analisi e indagini mirate.

L'uso di foto aeree fornisce buoni risultati sebbene esse abbiano distorsioni intrinseche (es. le "ottiche" - le lenti attuali hanno distorsioni radiali fino ad oltre 0,110 mm) ed esterne al sistema fotografico

adoperato (posizione della fotocamera rispetto al terreno). Mediante la orto-rettificazione delle immagini è possibile rimuovere le distorsioni con procedimenti costosi e lunghi. Recentemente alcuni Autori hanno sviluppato metodi di parziale orto-rettificazione delle immagini che diminuiscono gli errori ma non li rimuovono del tutto.

Negli ultimi decenni, i migliori risultati sono stati ottenuti mediante la fotogrammetria digitale ed il LIDAR (Light Detection and Ranging) integrati mediante l'uso di tecniche GIS. Vari Autori hanno utilizzato profili ricavati da dati LIDAR per correlarli all'arretramento delle falesie. I vantaggi sono rappresentati dal gran numero di misure ed informazioni che si possono raccogliere su estesi settori di costa.

Sia la fotogrammetria digitale che il LIDAR possono fornire modelli in 3-D della costa che possono poi essere incorporati in un GIS per condurre analisi spaziali e temporali. Si ricorda, infine, che misure terrestri accurate possono essere condotte mediante tecniche GPS che restituiscono precisioni millimetriche, ma indubbiamente le campagne possono essere molto lunghe e costose.

4 IL RILIEVO GEO-STRUTTURALE

Le indagini in situ favoriscono l'approfondimento delle conoscenze geologiche per mezzo dell'esecuzione di un rilievo geo-strutturale in parete mediante ispezione con rocciatori, con il rilievo per ciascuna famiglia di giunti, delle spazature e delle discontinuità meccaniche, in modo da valutare il parametro *JRC* ed il parametro *JCS* per la caratterizzazione della qualità della roccia.

In particolare, il rilievo geostrutturale ha interessato un tratto di 1 km e conseguentemente il tratto di costa con applicazione del modello di valutazione degli effetti del moto ondoso sulle falesie ha uno sviluppo lineare di 1 km.

Nella presente relazione si espongono i risultati del rilievo geostrutturale eseguito a Capo Calavà nell'ambito del Progetto REMACO. Le operazioni di rilievo sono state eseguite in più fasi di approfondimento. La prima fase è stata eseguita analizzando le foto da drone e successivamente si è proceduto con il rilievo diretto dei fronti rocciosi eseguito da geologi rocciatori con tecniche di progressione su corda. Il volo con il drone ha infatti consentito di avere una visione di insieme dell'area in studio e di individuare le principali problematiche e strutture presenti. L'area è stata studiata con numerose discese su corda in modo da raggiungere, nel rispetto della sicurezza degli operatori, e cartografare le principali criticità.

Il rilievo geostrutturale ha consentito di acquisire i dati indispensabili alla caratterizzazione geostrutturale e geomeccanica dell'ammasso roccioso. Sono quindi state rilevate le caratteristiche dei giunti misurandone la giacitura e sono inoltre state eseguite numerose prove sclerometriche per la stima della resistenza a compressione monoassiale e numerose misurazioni di rugosità utilizzando il pettine di Barton.

L'area in studio costituisce la parte alta di un ripido versante che si sviluppa dal mare sino alla quota 220 m slm. Più nel dettaglio il presente studio si è concentrato sulla parte alta del versante a partire dalla quota 140 m. La seguente *Figura 4* mostra l'area rilevata, mentre la tavola 0 (*Figura 5*) consente una visione d'insieme dell'area rilevata con l'indicazione delle aree coperte dalle altre tavole di dettaglio.



Figura 4 – Ubicazione dell'area rilevata

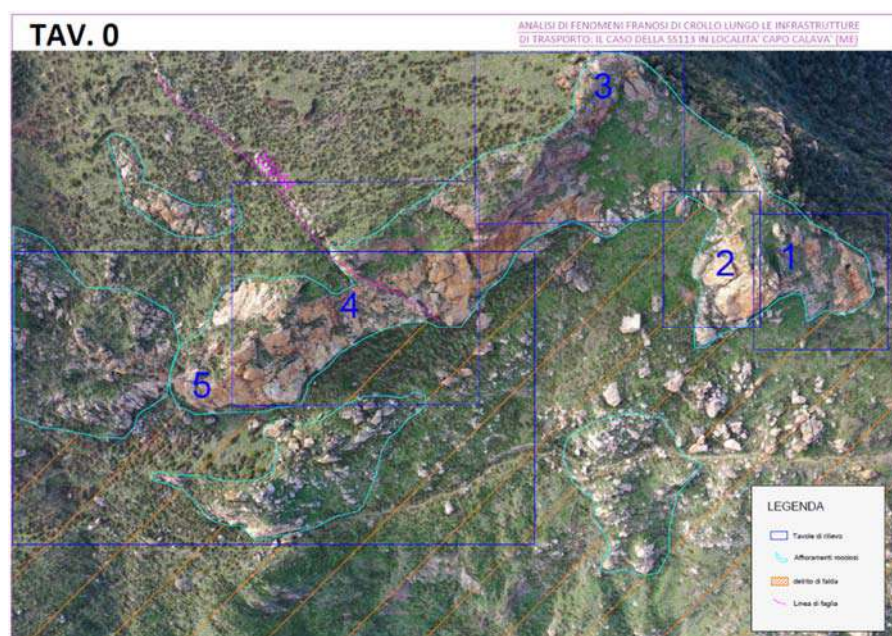


Figura 5 – Ubicazione dell'area rilevata

Per l'esecuzione del rilievo geostrutturale è stata eseguita una scanline oltre a numerose altre misure su stazioni geomeccaniche distribuite sull'area rilevata. per ciascuno dei piani di discontinuità rilevati sono state descritte le seguenti caratteristiche:

- **Intersezione** ovvero la distanza (in metri) tra il punto d'inizio della linea di scansione e il punto nel quale il piano di discontinuità interseca la linea (solo per le misure acquisite lungo la scanline).
- **Tipo di discontinuità** è stato indicato il tipo di discontinuità distinguendo se si tratta di un giunto (inteso come generica fratturazione) o una faglia o una faglia minore o di foliazione.
- **Giacitura** è stata riportata direzione di immersione (dip direction) e l'inclinazione (dip) del piano di discontinuità. Le giaciture delle discontinuità rilevate in situ sono state misurate in accordo con quanto descritto nella "Clar's notation". Ovvero è stato misurato, in senso orario, l'angolo tra la direzione del Nord magnetico e la proiezione sul piano orizzontale del vettore con la massima pendenza tracciabile sul piano della discontinuità. Tale angolo è chiamato "DIP direction". Inoltre, per ogni discontinuità planare è stato misurato l'angolo minimo tra il piano orizzontale e la linea di massima pendenza tracciata sulla discontinuità, detto angolo è chiamato "DIP angle" o "DIP".
- **L'apertura** è la distanza ortogonale tra le pareti della discontinuità essa è stata misurata con uno spessimetro a lamelle.
- **La lunghezza** della discontinuità è stata misurata in metri sull'affioramento rilevato seguendola sino alla sua terminazione
- **Terminazione.** È stato indicato il tipo di terminazione. Se la discontinuità termina in roccia intatta, contro un'altra frattura o fuori affioramento. Sono state indicate sempre due lettere: la prima lettera indica l'inizio ovvero la terminazione della discontinuità al disotto della scanline. La seconda lettera indica la terminazione della discontinuità al di sopra della scanline.
- **Il Grado di alterazione delle superfici** è stato determinato utilizzando la seguente terminologia:

G1 Nullo (roccia fresca)

G2 Debole (superficie decolorata e/o ossidata)

G3 Medio (alterata in superficie)

G4 Alto (decomposta vicino discontinuità)

G5 Molto Alto (massa rocciosa totalmente decomposta, disgregazione minerali)

- **Forma.** Per la classificazione della Forma della discontinuità si è distinto tra forma Segmentata Ondulata o Planare e per ogni forma è stato descritto se la superficie risultava rugosa liscia o striata. In funzione delle caratteristiche si è fatto riferimento alla seguente classificazione per determinare la classe di appartenenza (Figura 7).

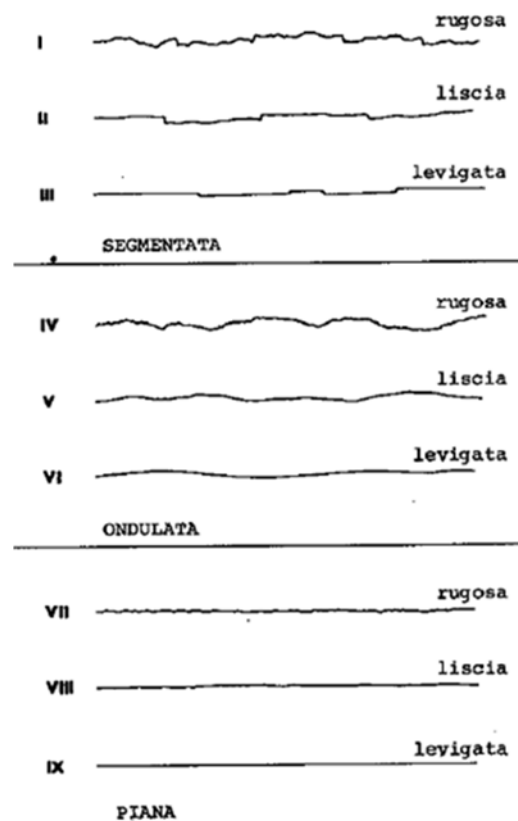


Figura 7 – Caratterizzazione della forma della discontinuità

- **Il Tipo di Riempimento** è stato descritto utilizzando le seguenti classi tipologiche

R1 Assente

R2 patine limose

R3 Patine Argillose

R4 sabbia/detrito sciolti

R5 Breccia o materiale cementato

R6 Argilla dura

R7 Argilla soffice

R8 Mineralizzazioni (Ca Qz)

- **Rugosità (JRC)** Il Joint Roughness Coefficient (JRC) è una stima della rugosità della superficie della discontinuità. Tale parametro è stato determinato confrontando il profilo di rugosità del giunto, ricavato poggiando il profilometro (pettine di Barton) sulla superficie della discontinuità, con alcuni profili standard proposti da Barton & Choubey (1977). Il profilometro utilizzato ha consentito di ottenere un profilo lungo 15 cm con risoluzione millimetrica che può essere agevolmente confrontato con i profili standard che hanno lunghezza pari a 10 cm (*Figura 8*).

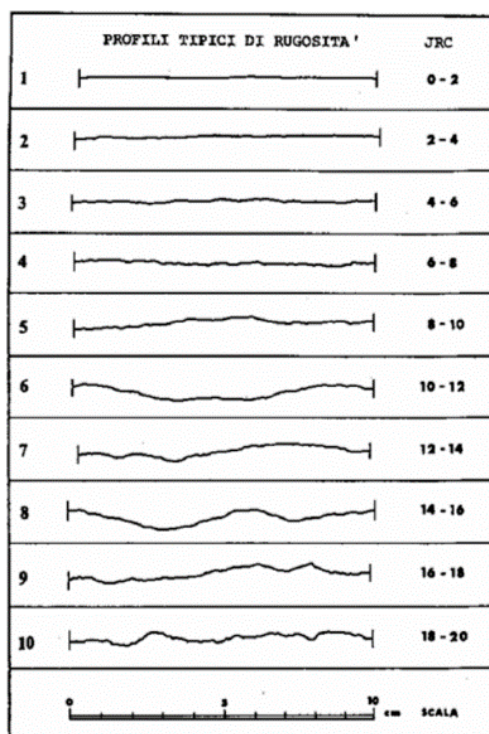


Figura 8 – Caratterizzazione dei profili di rugosità

- **ID JCS Resistenza a compressione delle pareti della discontinuità:** in questo campo è riportato l'ID della prova sclerometrica.

A seguire si riportano alcune immagini del rilievo geostrutturale condotto sul sito esaminato (Figura 9).

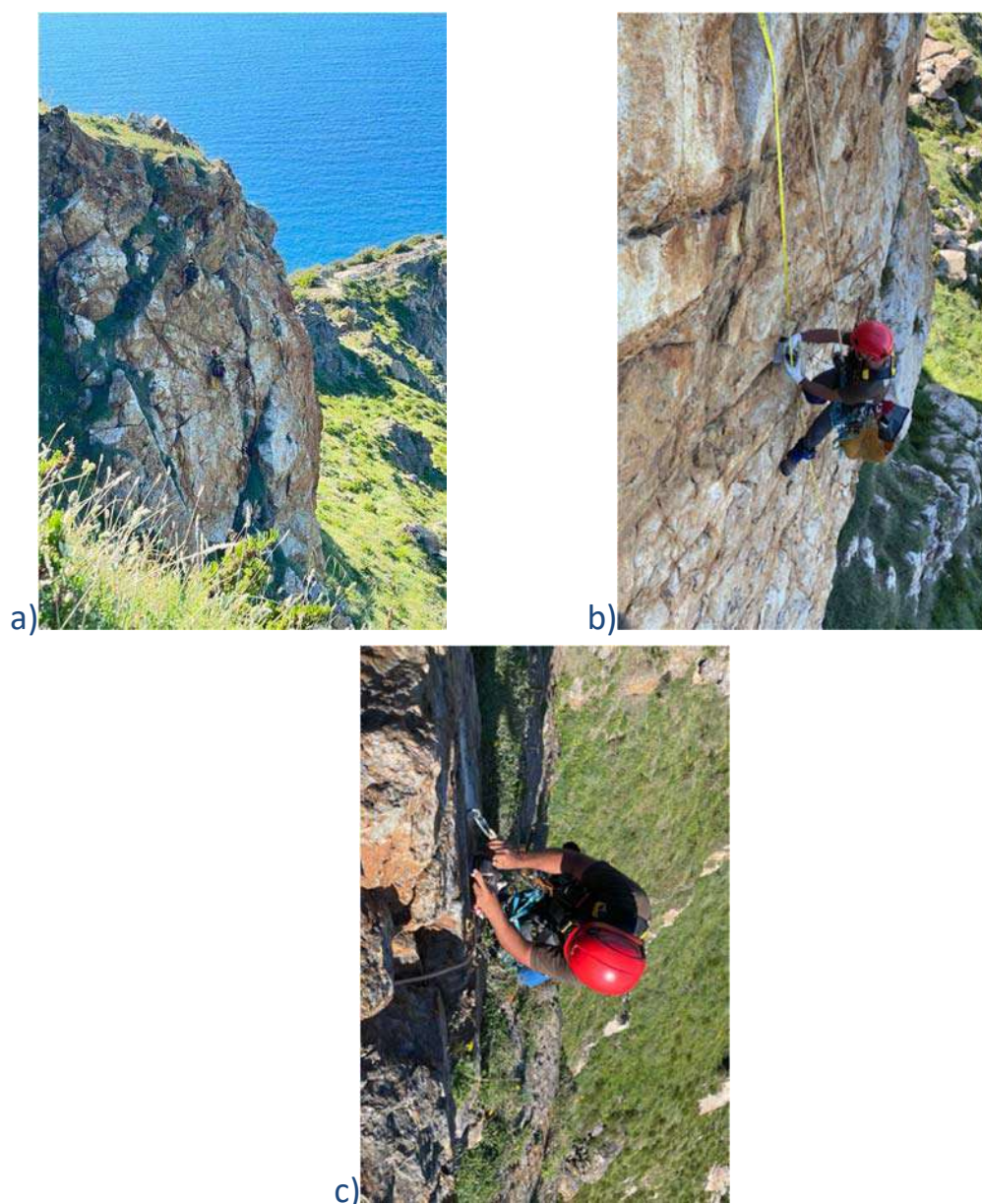


Figura 9 – Immagini del sito oggetto del rilievo: a) esecuzione della Scanline1; b) misurazione di una giacitura lungo la Scanline1; c) esecuzione prova sclerometrica lungo la Scanline1

Le misure acquisite lungo la Scanline1 sono riportate nelle seguenti *Tabella n. 1.a* e nella *Tabella n.1.b*.

Tabella 1.a. Dati rilevati lungo la Scanline1

| N | Intersezione (m) | Tipologia discontinuita | GIACITURA | | Apertura | Lunghezza |
|----|------------------|---------------------------|--|--------------------------------|---------------|-----------|
| | | | | | | |
| | | G Giunto | | | A1 Chiusa | |
| | | F Faglia | | | A2 <0.1 mm | |
| | | F' Faglia minore | | | A3 0.1-1.0 mm | |
| | | ZF zona di faglia | | | A4 1.0-5.0 mm | |
| | | ZT Zona di taglio duttile | | | A5 >5.0 mm | |
| | | C Contatto | | | | |
| | | Fo Foliazione | | | | |
| | | St Stratificazione | Immersione (<i>dip direction</i>) | Inclinazione (<i>dip</i>) | | |
| 1 | 0.80 | G | 280 | 70 | 10 | 4.5 |
| 2 | 1.60 | G | 138 | 54 | 1 | 1 |
| 3 | 2.03 | G | 138 | 54 | 1 | 1 |
| 4 | 2.10 | G | 282 | 68 | 4 | 4 |
| 5 | 3.00 | G | 138 | 54 | 1 | 3 |
| 6 | 3.10 | G | 280 | 70 | 4 | 3.2 |
| 7 | 3.20 | G | 138 | 54 | 1 | 3 |
| 8 | 4.07 | G | 310 | 30 | 30 | 6 |
| 9 | 5.00 | G | 184 | 62 | 2 | 1 |
| 10 | 5.80 | G | 310 | 30 | 30 | 5.8 |
| 11 | 6.30 | G | Area intesamente fratturata dalla progressiva 6.30 m alla progressiva 7.00 | | | |
| 12 | 6.80 | G | 262 | 38 | 10 | 5 |
| 13 | 7.00 | G | 112 | 42 | 1 | 1.5 |
| 14 | 7.70 | F Faglia - Striature | 54 | 54 | 1 | 2 |
| 15 | 8.60 | G | 102 | 42 | 2 | 6 |
| 16 | 8.90 | G | 320 | 44 | 1 | 8 |
| 17 | 9.60 | G | 178 | 54 | 10 | 6 |

Tabella 2.b. Dati rilevati lungo la Scanline1

| Terminazione | Grado alterazione superfici | Forma | Riempimento (spessore mm) | Filtrazione |
|---|--|--|----------------------------------|--------------------------------------|
| R la discontinuità termina in roccia intatta | G1 Nullo (roccia fresca) | I-Rugosa, segmentata | R1 Assente | F1 Asciutta |
| | G2 Debole (superficie decolorata e/o ossidata) | II-Liscia, segmentata | R2 patine limose | F2 Asciutta ossidata |
| | | III-Levigata, segmentata | R3 Patine Argillose | F3 Asciutta con riempimento dilavato |
| F la discontinuità è interrotta da una frattura | G3 Medio (alterata in superficie) | IV-Rugosa, ondulata | R4 sabbia/detrito sciolti | F4 Umida |
| | G4 Alto (decomposta vicino discontinuità) | V-Liscia, ondulata | R5 Breccia o materiale cementato | |
| O non è visibile la fine della discontinuità | | G5 Molto Alto (massa rocciosa totalmente decomposta, disgregazione minerali) | VII-Rugosa, piana | R6 Argilla dura |
| | VIII-Liscia, piana | | R7 Argilla soffice | |
| | IX-Levigata, piana | | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F7 Flusso in pressione |
| FF | G4 | V-Liscia, ondulata | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| FF | G4 | VIII-Liscia, piana | R1 Assente | F1 |
| FF | G4 | VIII-Liscia, piana | R1 Assente | F1 |
| FF | G4 | V-Liscia, ondulata | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| FF | G4 | V-Liscia, ondulata | R1 Assente | F1 |
| FF | G4 | V-Liscia, ondulata | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| FF | G4 | V-Liscia, ondulata | R1 Assente | F1 |
| FF | G4 | VIII-Liscia, piana | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| FF | G4 | II-Liscia, segmentata | R1 Assente | F1 |
| FF | G4 | VIII-Liscia, piana | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| | G4 | | | F1 |
| FF | G4 | IV-Rugosa, ondulata | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| FF | G4 | VIII-Liscia, piana | R4 sabbia/detrito sciolti | F1 |
| FF | G4 | VIII-Liscia, piana | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| FF | G4 | VIII-Liscia, piana | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| FF | G4 | V-Liscia, ondulata | R8 Mineralizzazioni (Ca Qz) | F1 |
| FF | G4 | II-Liscia, segmentata | R1 Assente | F1 |

Le misure sulle stazioni geomeccaniche sono riportate nella *Tabella 2* e nella prima colonna di tale tabella è riportata la tavola di rilievo che ritrae l'area nella quale le misure sono state rilevate. Le tavole di rilievo sono riportate in calce al presente studio.

Pertanto, per ciascuno dei piani di discontinuità rilevati sono state descritte le seguenti caratteristiche:

Tabella 3. Dati delle stazioni geomeccaniche

| ZONA | n. misura/Blocco riportate sulle tavole | Giacitura discontinuità | | Tabella . 2: DATI ACQUISITI NELLE STAZIONI GEOMECCANICHE IN PARETE | | | ID JRC |
|-------|---|-------------------------|--------------|--|-------------------|------------------|--------|
| | | Immersione | Inclinazione | APERTURA mm | FORMA | RIEMPIMENTO | |
| TAV 1 | 1 | 308 | 40 | 80 | liscia ondulata | incoerente | 1 |
| TAV 1 | 2 | 296 | 42 | 40 | liscia piana | assente | 2 |
| TAV 1 | 3 | 102 | 80 | 300 | rugosa piana | assente | 3 |
| TAV 1 | 4 | 80 | 70 | 20 | liscia piana | incoerente | 4 |
| TAV 1 | 5 | 332 | 68 | 10 | liscia piana | incoerente | 5 |
| TAV 2 | 15 | 102 | 42 | 2 | liscia piana | mineralizzazioni | 6 |
| TAV 2 | 1 | 158 | 80 | 5 | liscia piana | mineralizzazioni | 7 |
| TAV 2 | 2 | 56 | 68 | 10 | liscia piana | incoerente | 8 |
| TAV 2 | 3 | 172 | 44 | 12 | liscia piana | mineralizzazioni | 9 |
| TAV 2 | 4 | 90 | 32 | 140 | liscia piana | incoerente | 10 |
| TAV 2 | 5 | 142 | 78 | 250 | liscia piana | incoerente | 11 |
| TAV 2 | 8 | 30 | 80 | 200 | rugosa piana | incoerente | |
| TAV 3 | 1 | 342 | 68 | 300 | planare striata | incoerente | 12 |
| TAV 3 | 2 | 336 | 82 | 50 | rugosa segmentata | incoerente | 13 |
| TAV 3 | 3 | 248 | 28 | 30 | rugosa piana | incoerente | |
| TAV 3 | 4 | 52 | 58 | 40 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 3 | 5 | 232 | 70 | 8 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 3 | 6 | 238 | 38 | 20 | rugosa piana | incoerente | 14 |
| TAV 3 | 7 | 238 | 78 | 10 | rugosa piana | incoerente | |
| TAV 3 | 8 | 282 | 28 | 40 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 3 | 9 | 232 | 72 | 12 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 3 | 10 | 69 | 28 | 15 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 3 | 11 | 104 | 78 | 5 | liscia piana | incoerente | |
| TAV 3 | 12 | 30 | 10 | 22 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 4 | 13 | 192 | 56 | 5 | liscia piana | incoerente | |
| TAV 4 | 14 | 84 | 78 | 3 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 4 | 15 | 176 | 70 | 250 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 4 | 16 | 92 | 40 | 142 | liscia ondulata | concrezionata | |
| TAV 4 | 17 | 269 | 72 | 10 | striata piana | incoerente | |
| TAV 4 | 18 | 252 | 72 | 15 | striata piana | incoerente | |
| TAV 4 | 19 | 252 | 69 | 220 | striata piana | incoerente | |
| TAV 5 | A3 | 352 | 82 | 420 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 5 | A3 | 52 | 48 | 550 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 5 | A4 | 356 | 72 | 150 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 5 | A5 | 350 | 76 | 120 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 5 | A6 | 352 | 72 | sup struttur. | liscia piana | assente | |
| TAV 5 | A7 | 106 | 83 | 100 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 5 | A7 | 128 | 67 | 80 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 5 | A7 | 346 | 56 | 180 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 5 | A7 | 182 | 75 | 30 | rugosa segmentata | incoerente | |
| TAV 5 | | 256 | 72 | 4 | liscia piana | incoerente | |
| TAV 5 | B3 | 12 | 62 | 50 | liscia piana | incoerente | |
| TAV 5 | B3 | 38 | 40 | 40 | Rugosa ondulata | incoerente | |

Rappresentazione dei dati tramite il diagramma di Schmidt-Lambert

Tutti i dati della “DIP direction” e del “DIP angle” sono stati proiettati nel diagramma di Schmidt- Lambert (proiezione stereografica equiareale nell’emisfero inferiore) riportato nella seguente *Figura 10*.

Il vantaggio dell’utilizzo di tale tipo di rappresentazione dei dati è che sul diagramma stereografico il piano viene rappresentato con un punto. Tale punto è chiamato polo e rappresenta l’intersezione della linea ortogonale al piano con la sfera di proiezione.

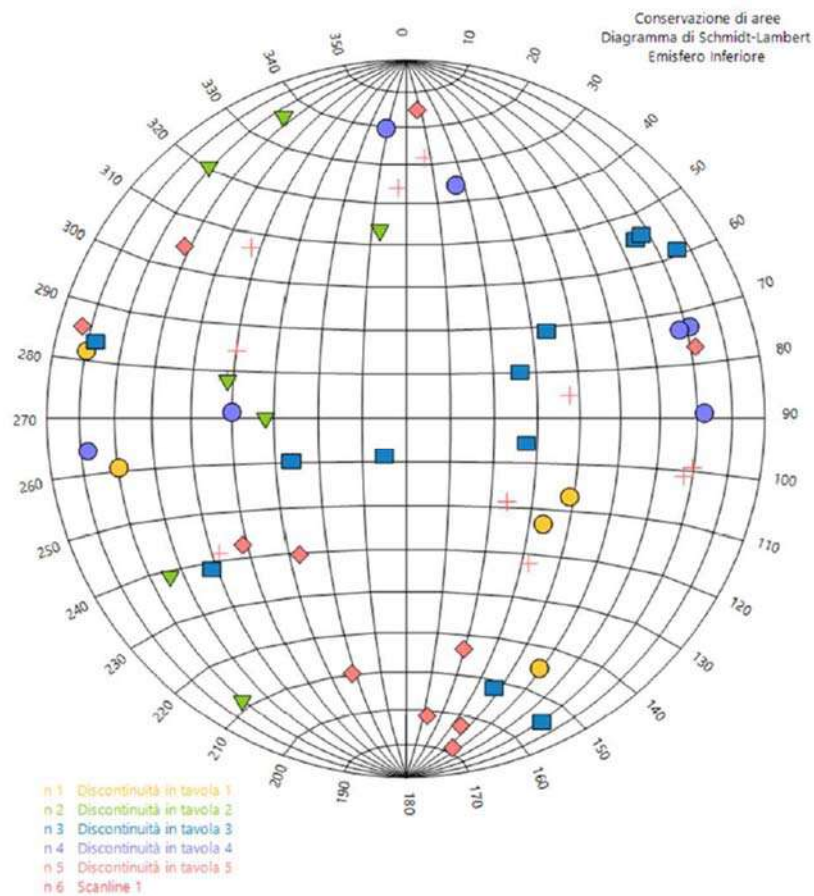


Figura 10 – Proiezione sul Diagramma di Schmidt – Lambert (proiezione stereografica equiareale nell’emisfero inferiore) dei poli di tutti i dati rilevati.

Rappresentazione dei dati tramite il diagramma di isodensità

I dati proiettati sul diagramma di Schmidt-Lambert sono stati elaborati per individuare le aree ove si addensano i poli. Pertanto, tramite un processo di post-elaborazione, è stato generato il diagramma delle aree di percentuale di frequenza che meglio evidenzia, tramite una scala di grigi, la distribuzione percentuale delle principali famiglie di discontinuità (vedasi *Figura 11*).

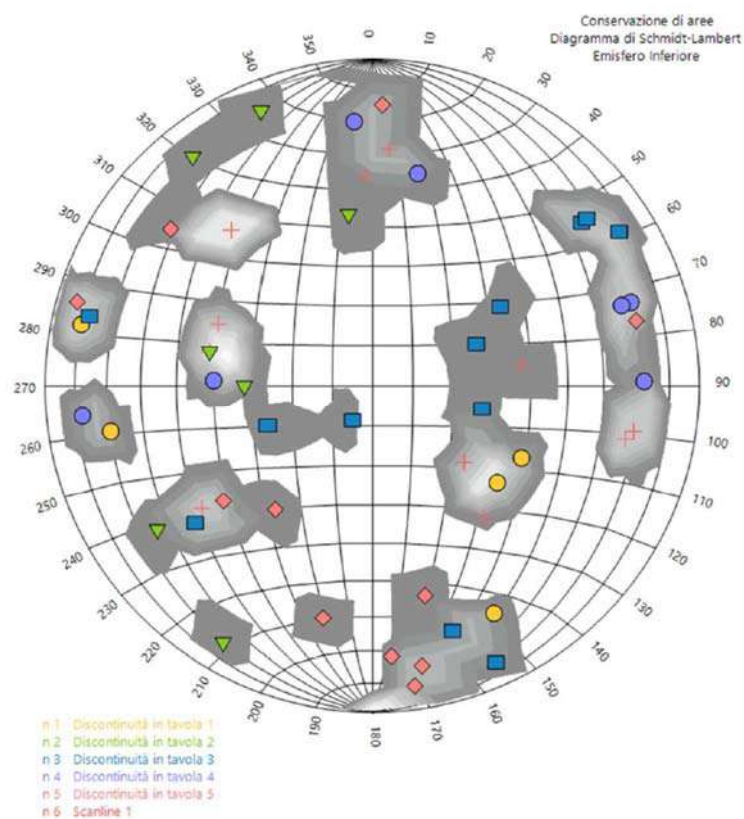


Figura 11 – Proiezione sul Diagramma di Schmidt – Lambert (proiezione stereografica equiareale nell'emisfero inferiore) dei poli di tutti i dati rilevati sovrapposti al diagramma delle aree di percentuale di frequenza.

Rappresentazione dei dati tramite il diagramma a stella

Il diagramma a stella (*Figura 12*) è un particolare diagramma nel quale i dati di giacitura delle discontinuità sono presentati su un riferimento circolare segnato da 0° a 360°, con linee radiali a intervalli di 10°. I dati sono così analizzati per settori di 10°. Il numero di poli ricadente in ogni settore è proporzionale alla lunghezza della direzione radiale. Per favorire la lettura di tale grafico sono stati rappresentati i cerchi concentrici ciascuno relativo al numero di dati pari a 5, 10 o 15.

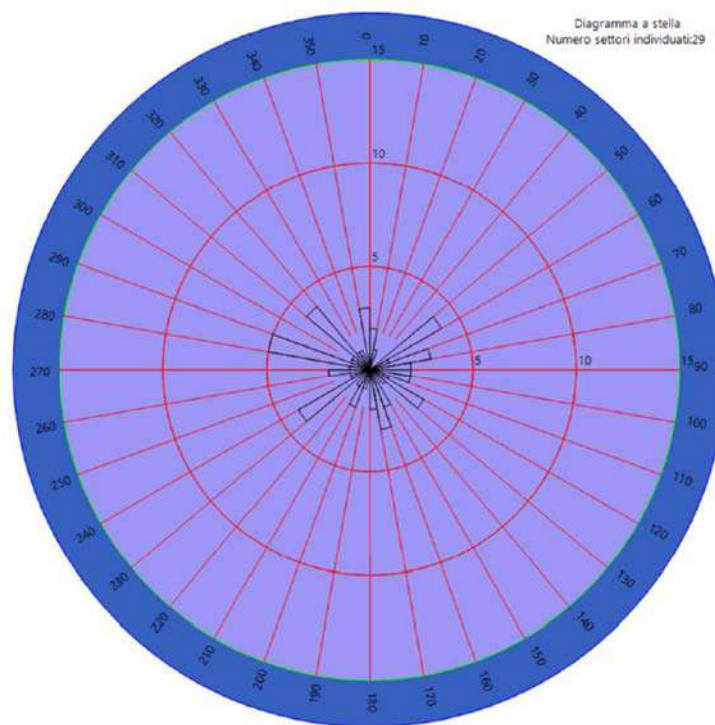


Figura 12 – Diagramma a stella

Dall'osservazione dei diagrammi precedentemente riportati è emersa la coerenza delle misure che si distribuiscono su almeno 7 famiglie. Tale fenomeno è frequente nelle rocce metamorfiche dove è presen-

te una predisposizione alla rottura variamente orientata legata agli stress subiti dalla roccia.

Tuttavia, dall'osservazione dei diagrammi e dei dati riportati nelle tabelle 1 e 2 si nota che nel sito in studio sono state rilevate numerose superfici di discontinuità lisce, aperte e con andamento planare o ondulato. Queste, essendo subverticali e variamente orientate, si intersecano separando blocchi instabili di diversi metri cubi. Inoltre, i blocchi così separati tendono a ribaltare sulle superfici a franapoggio.