



**IschiaGeoTermia S.r.l.**

Codice Fiscale e Partita IVA 07730051211 • Capitale sociale: Euro 10.000 i.v.

Attività di Direzione e Coordinamento: ASTA S.p.A.

Sede: Via Piffetti, 15 • 10143 Torino • Tel 011 4737401 • Fax 011 480476

**PERMESSO DI RICERCA PER RISORSE GEOTERMICHE  
FINALIZZATO ALLA SPERIMENTAZIONE DI IMPIANTI PILOTA  
DENOMINATO “FORIO”**

**Rilievo delle condizioni di stabilità di 2 versanti rocciosi  
nella zona occidentale del Monte Epomeo nel territorio  
comunale di Serrara Fontana (NA) sull'isola d'Ischia**

**Progettazione**



**STEAM**

**STEAM**

**SISTEMI ENERGETICI AMBIENTALI**

Via Ponte a Piglieri, 8

I – 56122 Pisa

DATA	CODICE PROGETTO			REVISIONE
Gennaio 2017	P16_GAV_027			REV.0
Progetto	Redatto da	Visto da	Approvato da	DATA
P16_GAV_027	SC – AT - MGD	SC	RC	17/01/2017

Id. Cons.	Data	Committente
<b>C006/16</b>	<b>27/12/2016</b>	<b>IschiaGeoTermia Srl</b>

Progetto

**Progetto impianto pilota geotermico "Serrara Fontana" nel  
comune di Serrara Fontana nell'isola d'Ischia (NA)**

Titolo elaborato

**RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA**

Cod Elaborato

**C006-16-R01.0**

Titolo Incarico

**Rilievo delle condizioni di stabilità di 2 versanti rocciosi nella  
zona occidentale del Monte Epomeo nel territorio comunale di  
Serrara Fontana (NA) sull'isola d'Ischia**

Rev.	Pagina	di
<b>00</b>	<b>1</b>	<b>44</b>

CANTIERE	Via Falanga
COMUNE	Serrara Fontana
PROVINCIA	NAPOLI

00	27/12/2016	Antonio Pignalosa	Ermanno Marino
<b>REV</b>	<b>Data</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Approvato</b>

**stage srl**  
Direttore Tecnico  
**Dott. Geol. Ermanno Marino**



**SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIE DI RILIEVO ED ELABORAZIONE DEI DATI RACCOLTI</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>RILIEVI TOPOGRAFICI TRIDIMENSIONALI</b>	<b>8</b>
2.1.1	PIANIFICAZIONE DEI RILIEVI E GEOREFERENZIAZIONE DEI DATI	8
2.1.2	PIANIFICAZIONE DEI RILIEVI FOTOGRAMMETRICI	8
2.1.3	ESECUZIONE DEL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DI PROSSIMITÀ	9
<b>2.2</b>	<b>ISPEZIONI, RILIEVI GEOLOGICI E GEOMECCANICI</b>	<b>10</b>
2.2.2	RILIEVO GEOMECCANICO	12
<b>3</b>	<b>ELABORAZIONE DATI</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>ELABORAZIONE DEI DATI GNSS</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>ELABORAZIONE DEL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO</b>	<b>16</b>
3.2.1	SELEZIONE ED EQUALIZZAZIONE DEI SINGOLI FOTOGRAMMI;	16
3.2.2	ALLINEAMENTO DELLE IMMAGINI MEDIANTE <i>STRUCTURE FROM MOTION</i> ;	17
3.2.3	GEOREFERENZIAZIONE DEI DATI E MESSA IN SCALA DEI MODELLI	17
3.2.4	FILTRAGGIO E RICOSTRUZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI Densa ( <i>DENSE POINT CLOUD</i> ).	17
3.2.5	FILTRAGGIO DEI DATI E RICOSTRUZIONE DI SUPERFICI TRIDIMENSIONALI ( <i>MESHING</i> ).	18
3.2.6	TEXTURIZZAZIONE DEI MODELLI 3D MESH E RESTITUZIONE DELLE ORTOFOTO.	18
3.2.7	ELABORAZIONI IN AMBIENTE GIS	19
<b>3.3</b>	<b>TELERILEVAMENTO ED ANALISI MORFOMETRICHE</b>	<b>20</b>
3.3.1	TELERILEVAMENTO	20
3.3.2	ANALISI MORFOMETRICHE	20
<b>3.4</b>	<b>ELABORAZIONE DEI DATI GEOMECCANICI</b>	<b>21</b>
3.4.1	ELABORAZIONE DEI DATI GIACITURALI	21
3.4.2	CONDIZIONI DI INSTABILITÀ DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	21
3.4.3	CINEMATISMI DI ROTTURA	22
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DEI REPORT E DEGLI ELABORATI CARTOGRAFICI PRODOTTI</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>REPORT DELLE SITUAZIONI DI INSTABILITÀ</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>TABULATO DELLE DISCONTINUITÀ RILEVATE</b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>CARTOGRAFIA DI BASE</b>	<b>25</b>

4.3.1	CARTE TOPOGRAFICHE PLANIMETRICHE E PROSPETTICHE	25
4.4	CARTOGRAFIE MORFOMETRICHE, PLANIMETRICHE E PROSPETTICHE	26
4.5	CARTA DEI DISSESTI IN ATTO O POTENZIALI	28
4.6	CARTOGRAFIA DI SINTESI TEMATICA	29
4.6.1	CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	30
<b>5</b>	<b>DISCUSSIONE DEI RISULTATI DELLE ANALISI SVOLTE</b>	<b>32</b>
5.1	INTRODUZIONE	32
5.2	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEGLI AMMASSI	32
5.3	INFLUENZA DELL'ALTERAZIONE E DELL'AZIONE DI MECCANISMI MORFOSELETTIVI	34
5.4	INFLUENZA DELL'ASSETTO GEOSTRUTTURALE	36

**ALLEGATO 01 - TABULATO DELLE CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DELLE DISCONTINUITA'**

---

**stage srl**

*sede legale*

viale Gandhi, 72  
81025 - Marcianise CE

*Sede operativa*

Via Forno Vecchio, 38  
80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16

Fax: +39 081 1972 10 58

email: [info@stagesrl.com](mailto:info@stagesrl.com)

web: [www.stagesrl.com](http://www.stagesrl.com)

## 1 Premessa

La società Ischia Geotermia S.r.l., nell'ambito del progetto dell'*impianto pilota geotermico "Serrara Fontana" nel comune di Serrara Fontana nell'isola d'Ischia (NA)*, ha affidato, con ordinativo d'acquisto n.12/2016 alla ditta Stage S.r.l. l'incarico di eseguire la verifica delle condizioni di stabilità di due versanti rocciosi prospicienti in località Scarrupata, nel comune di Serrara Fontana (NA), sull'Isola d'Ischia.

Le aree oggetto di indagini sono quelle riportate in Figura 1 e ricadono nella porzione sommitale del versante occidentale del M.Epomeo. In particolare l'Area 1 interessa un fronte roccioso prospiciente via Falanga con uno sviluppo di circa 40m di lunghezza e 20-25m di altezza. L'Area 2 è la parte sommitale del versante sottostante il piazzale che verrà utilizzato per le opere in progetto.

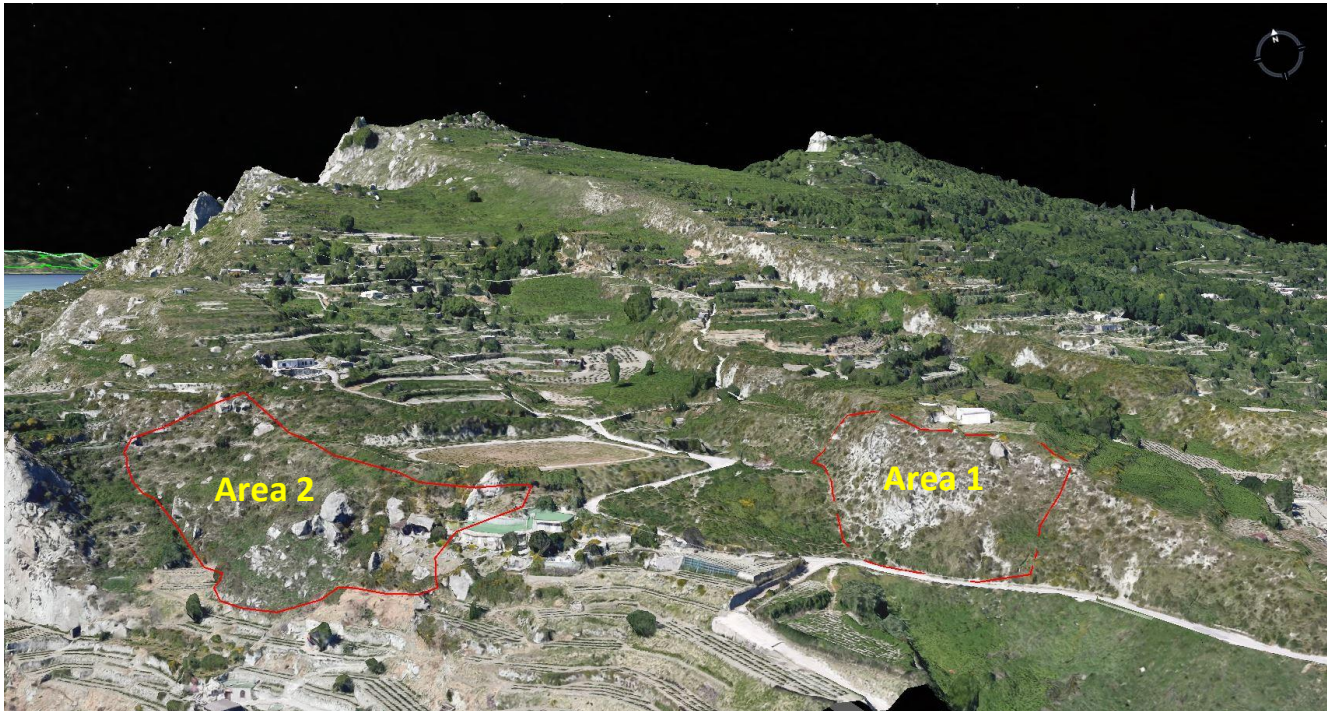


Figura 1 Vista tridimensionale estratta dal software Google Earth, delle aree di indagine, circonscritte attraverso perimetri rossi

L'obiettivo principale dell'incarico è consistito nell'ispezione e caratterizzazione delle situazioni di dissesto presenti, al fine di ricavare informazioni circa la pericolosità per fenomeni di crollo, e nell'esecuzione di un rilievo completo ad alta risoluzione mediante fotogrammetria di prossimità da drone, per la realizzazione dei modelli tridimensionali e delle basi di rappresentazione.

Pur considerando la difficoltà oggettiva del sito, per la presenza di pendii scoscesi e di ampie aree coperte da fitta vegetazione arbustiva, che rendono di fatto complicata l'acquisizione di dati da parte dei geologi rocciatori e l'elaborazione dei dati fotogrammetrici, è stata svolta una valutazione dell'assetto degli ammassi rocciosi affioranti nell'area oggetto di studio, osservandone le caratteristiche geologiche, geostrutturali, geomeccaniche e geomorfologiche, per individuare le fenomenologie evolutive che ne condizionano la stabilità, al fine di definire gli aspetti verso cui indirizzare le future fasi di progettazione.

Le attività di rilievo ed ispezione sono state eseguite in parete e lungo i pendii scoscesi da geologi rocciatori certificati all'uso di sistemi di accesso e posizionamento mediante funi, ai sensi del D.Lgs. 81/2008 del 09 aprile 2008 e del D.Lgs. 106/2009 e delle successive modifiche e integrazioni. I geologi rocciatori sono stati coadiuvati da geologi a terra per il coordinamento delle operazioni.

Al fine di espletare tale incarico la Stage Srl ha svolto le fasi lavorative elencate a seguire, che saranno ampiamente descritte nei paragrafi successivi.

**stage srl**

sede legale

viale Gandhi, 72

81025 - Marcanise CE

Sede operativa

Via Forno Vecchio, 38

80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16

Fax: +39 081 1972 10 58

email: [info@stagesrl.com](mailto:info@stagesrl.com)

web: [www.stagesrl.com](http://www.stagesrl.com)

- Sopralluoghi operativi nelle aree di indagine finalizzati alla corretta pianificazione delle attività di rilievo.
- installazione di target topografici per la georeferenziazione mediante GPS-GNSS, in modalità statico-veloce, per la georeferenziazione della rete di capisaldi nel sistema di riferimento ETRF2000 coordinate UTM;
- analisi di scenario e verifica delle interferenze per l'esecuzione di voli mediante SAPR (sistema aeromobile a pilotaggio remoto);
- calcolo dei parametri fotogrammetrici e pianificazione in studio delle rotte di navigazione;
- esecuzione dei rilievi fotogrammetrici di prossimità mediante SAPR;
- analisi topografica geodetica e definizione delle coordinate UTM - ETRF2000 dei target utilizzati come punti di controllo (GCP - *Ground Control Point*)
- elaborazione, filtraggio e trattamento dati raccolti da fotogrammetria, al fine di realizzare un modello tridimensionale dell'ammasso roccioso con resa fotorealistica, alla risoluzione richiesta e per redigere ortofoto prospettiche ad alta risoluzione da utilizzare in fase di rilevamento geologico.
- Rilevamenti ed ispezioni in parete da parte dei geologi-rocciatori, durante i quali sono state segnalate e caratterizzate le criticità presenti. Le attività sono state coordinate da geologi a terra che hanno riportato su appositi rappresentazioni prospettiche tutte le peculiarità rilevate.
- Elaborazione, filtraggio e trattamento dati raccolti da fotogrammetria, al fine di realizzare un modello tridimensionale dell'ammasso roccioso, per le analisi morfometriche e la realizzazione delle cartografie planimetriche e prospettiche;
- Elaborazione ed analisi definitiva dei dati geologico-tecnici. Durante tale fase sono state trasferite su modelli tridimensionali le peculiarità rilevate in parete, sono state elaborate ed integrate le risultanze delle analisi in database georiferiti in ambito GIS, e sono state realizzate cartografie tematiche di sintesi;
- Redazione di relazione finale e degli elaborati grafici di consegna.

Tutti i dati rilevati e le risultanze di tutte le analisi sono stati integrati nell'ambito degli stessi geo-database costituiti per la gestione dei dati spaziali, derivanti dai rilievi topografici. L'integrazione in ambito GIS di tutti i dati rilevati, delle analisi e delle restituzioni permetterà alla committenza di interrogare i dati e di eseguire ulteriori derivazioni ed analisi integrata delle informazioni georiferite. In tal modo la committenza avrà disponibile in un unico ambiente tutte le informazioni necessarie ad un'accurata pianificazione delle strategie di intervento e alla progettazione delle opere di mitigazione.

La strumentazione utilizzata per l'esecuzione dei rilievi è stata la seguente:

- SAPR mod. Italdron Scrubble 4HSE-Pro corredato di fotocamera mirrorless full-frame sony alpha 7r da 36Mpx;
- Fotocamere calibrate Canon 5D Mark II da 21Mp e Canon 50D da 15 Mp, con ottiche, Canon 24-105mm L f/4, Sigma 24-70mm f/2.8, Canon 70-300 f/4-5.6 L IS USM.
- GNSS mod. Leica GS08;
- Attrezzatura speleo-alpinistica e per il rilevamento geologico

Di seguito si riportano le metodologie utilizzate per i rilievi e le analisi, nonché la descrizione degli elaborati e delle risultanze delle analisi condotte.



## 2 Metodologie di rilievo ed elaborazione dei dati raccolti

### 2.1 Rilievi topografici tridimensionali

#### 2.1.1 Pianificazione dei rilievi e georeferenziazione dei dati

Il corretto svolgimento di rilievi in aree impervie, come quelle oggetto di studio, richiede una minuziosa definizione delle problematiche logistiche e tecniche presenti ed una accurata organizzazione delle fasi di rilievo in campo. A tal fine sono stati svolti diversi sopralluoghi per ispezionare tutte le aree di rilievo e definire le caratteristiche geomorfologiche del sito, le criticità per l'avvicinamento con la strumentazione, la posizione dei punti di controllo per la georeferenziazione e per individuare i punti di osservazione, di decollo e atterraggio del SAPR.



Figura 2: Target in forex per la georeferenziazione, installato su un affioramento roccioso mediante tasselli autofilettanti o ad espansione.

La fase successiva ha riguardato l'installazione di target, costituiti da crocicchi di 20cm di diametro, in forex, resistente alle intemperie, come quelli riportati in Figura 2, lungo i versanti e i fronti rocciosi oggetto di rilievo. Per raggiungere i punti di installazione sono state utilizzate anche tecniche di progressione alpinistica, da parte di geologi rocciatori certificati ai sensi del D.Lgs. 81/2008, all'accesso e posizionamento mediante funi.

I target subito dopo esser stati installati sono stati rilevati acquisendo la posizione del punto centrale mediante GPS-GNSS (Figura 3) sia in modalità RTK (Real Time Kinematics), in aggancio sulla rete permanente GNSS SmartNet ItalPoS, che in modalità statico-veloce. In tal modo, attraverso opportune procedure di elaborazione, sono state ricavate le coordinate dei target con una precisione di circa 5mm, nel sistema di riferimento ETRF2000.

I punti di controllo, per ciascuna zona, sono stati posizionati in modo da garantire una distribuzione omogenea per l'intera area di rilievo garantendo la massima estensione sia planimetrica che altimetrica; il numero di target installati (6-8 target per ciascuna zona)

garantisce una buona ridondanza di dati e quindi un controllo su eventuali errori di georeferenziazione.

#### 2.1.2 Pianificazione dei rilievi fotogrammetrici

A seguito dei sopralluoghi svolti e delle campagne di rilievo geodetico sono stati sviluppati in studio dei piani di volo per il rilievo fotogrammetrico, da svolgere in modalità semi-automatica, secondo le specifiche di seguito descritte.

Il piano di volo è stato definito prevedendo una risoluzione a terra (*Ground Sample Distance*) compresa tra 1- e 2cm (superficie sviluppata da ogni pixel pari a 1-4cm<sup>2</sup>). Il sensore utilizzato per la fotogrammetria è una fotocamera mirrorless fullframe mod. sony alpha7r da 36 Mpx con sensore di 7360x4912 pixel, con dimensioni di 35,9x24 mm e ottica Sonnar/carl-zeiss a focale fissa da 35mm f2.8.

In base alle caratteristiche della strumentazione utilizzata e della risoluzione richiesta è stata definita una distanza di volo compresa di circa 50m, mentre lo sviluppo di ciascun fotogramma ha avuto una larghezza di circa 51m ed un'altezza di circa 34m.

In base allo sviluppo a terra di ciascun fotogramma ed in base all'estensione di ciascuna zona, sia in altimetria che in planimetria, è stato definito il numero di strisciate da compiere e lo scostamento in planimetria e in

**stage srl**

sede legale

viale Gandhi, 72

81025 - Marcanise CE

Sede operativa

Via Forno Vecchio, 38

80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16

Fax: +39 081 1972 10 58

email: info@stagesrl.com

web: www.stagesrl.com

altimetria tra ciascuna strisciata, garantendo tra i fotogrammi contigui una sovrapposizione laterale di almeno il 90% ed una verticale del 70%.



Figura 3: Fase di rilievo geodetico mediante GNSS in modalità statico-veloce, per la georeferenziazione dei modelli fotogrammetrici.

Le strisciate definite in modo matematico sono state poi rappresentate in GIS sulla cartografia disponibile (CTR Regione Campania in scala 1:5000) e importate in Google-earth come file kmz (e nel software di navigazione del SAPR).



Figura 4: Piano di navigazione per il rilievo di entrambe le aree di studio sul versante occidentale del M. Epomeo, importato in Google Earth; i marker rossi rappresentano i punti di passaggio del drone (waypoints) mentre le linee gialle rappresentano le traiettorie del drone. Il piano di volo è in 3d e la vista è una rappresentazione 3d inclinata del versante.

### 2.1.3 Esecuzione del rilievo fotogrammetrico di prossimità

Il rilievo fotogrammetrico è stato svolto eseguendo delle strisciate fotografiche mediante un SAPR dalle seguenti caratteristiche (Figura 5):

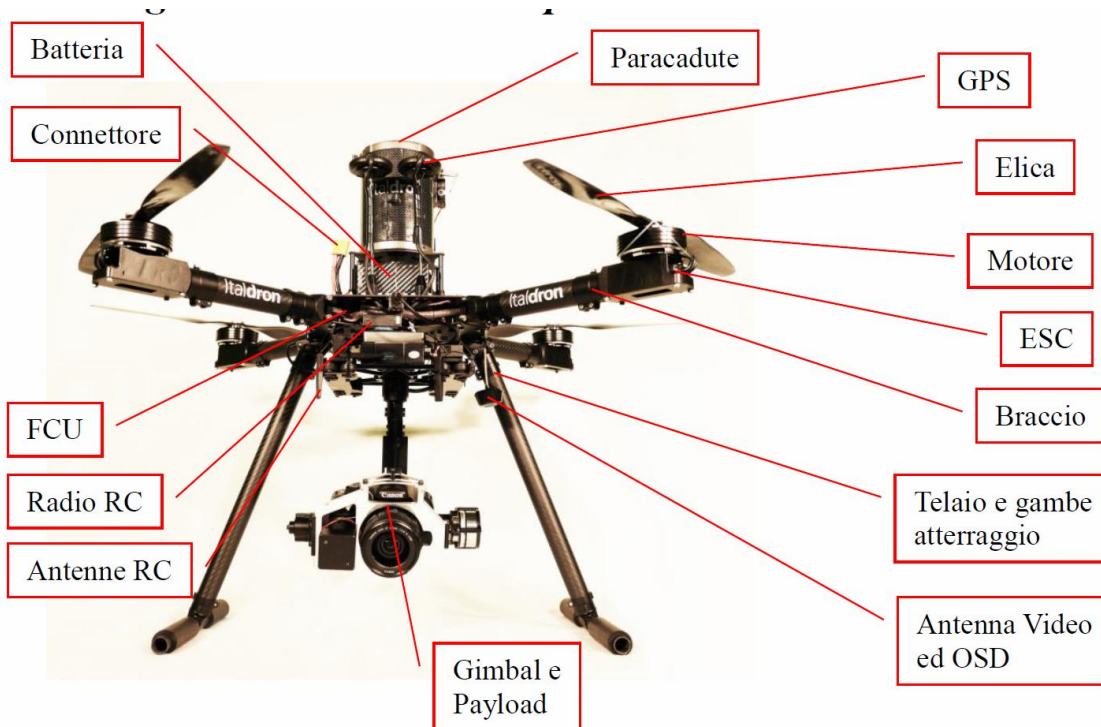


Figura 5. Drone HighOne Pro 4HSE con indicazione dei componenti principali.

Costruttore SAPR	ITALDRON Srl
Modello SAPR	HighOne Pro 4HSE
Numero Telaio	ID4HSE-M70
Autopilota Mod.	ZEROTECH GEMINI FCU 20140722
Gimbal mod	Zero Tech Gimbal Z1400 uavonic
Fotocamera mod.	Sony Alpha 7r (36Mpx)
Ottica	Sonnar® T* FE 35 mm F 2,8 ZA

Le strisciate sono state eseguite mediante voli svolti da operatori certificati per il pilotaggio di SAPR in aree critiche ai sensi della normativa ENAC vigente. Per ogni missione sono stati impiegati 2 tecnici, operanti a stretto contatto, aventi mansioni esclusive, uno del pilotaggio del drone, l'altro del controllo delle riprese fotografiche (controllando quindi fotocamera e *gimbal*).

I voli sono stati eseguiti decollando da punti (home point) precedentemente definiti e di altimetria nota. Per l'esecuzione delle strisciate si è optato per una modalità di volo semi automatica, utilizzando il navigatore presente sul drone. La modalità di volo semi-automatica, consente il controllo dell'operatore sulla velocità di progressione del drone e sulla quota di volo, il posizionamento planimetrico del drone è invece affidato al sistema di navigazione automatico e al sistema GNSS del drone. In questo modo è possibile garantire la correttezza del posizionamento (e quindi della distanza dall'oggetto di rilievo), permettendo al pilota di poter intervenire durante il volo. Nonostante l'uso di un sistema di navigazione in modalità semi automatica, i voli sono stati sempre condotti in modalità VLOS (*Visual Line Of Sight*), ovvero a vista.

L'operatore dedicato al controllo del sistema fotografico ha curato il corretto orientamento della fotocamera, la definizione della frequenza di scatto modulata in funzione della velocità di navigazione e la corretta sovrapposizione degli scatti tra strisciate diverse (*sidelap*), fornendo, al contempo, assistenza al pilota sui parametri di volo, sull'assetto del drone e sull'orientamento durante le fasi di decollo e atterraggio. Tutte le immagini sono state acquisite sia in formato RAW sia in formato JPG, alla massima risoluzione (36Mpx), in modo da garantire ampi margini di intervento in post-elaborazione.

## 2.2 Ispezioni, rilievi geologici e geomeccanici

I rilievi geologici, le ispezioni e i rilievi geomeccanici sono stati eseguiti direttamente sui fronti rocciosi (Figura 6) attraverso la coordinazione di squadre composte da geologi rocciatori certificati e geologi a terra, in

costante collegamento radio. I rilevamenti hanno riguardato le porzioni rocciose affioranti e sono stati finalizzati alla definizione dell'assetto geologico delle porzioni corticali dell'ammasso roccioso.

I rilievi condotti hanno interessato l'intero sviluppo dei due fronti (Area1 e Area2) nel loro pieno sviluppo altimetrico e planimetrico, raggiungendo una copertura pressoché completa riguardo le informazioni raccolte in parete per le porzioni affioranti. Ciononostante la presenza di coperture vegetali (arbusti, radici, tronchi, piante grasse e terreno vegetale), hanno localmente impedito l'acquisizione di dati geologici e geomeccanici e la valutazione completa delle condizioni di stabilità.

### **2.2.1 Ispezione dei fronti e caratterizzazione delle condizioni di instabilità**

L'esecuzione di un'analisi sulle condizioni di stabilità, che sia completa e dettagliata, presuppone una fase di rilievo in campo volto al conseguimento di accurate determinazioni necessarie per l'ottenimento degli obiettivi prefissati.

L'obiettivo principale dell'incarico ricevuto è stato quello di definire le condizioni di stabilità dei fronti attraverso l'individuazione dei fattori che condizionano la stabilità delle porzioni più corticali degli ammassi e la caratterizzazione delle masse instabili e l'analisi delle loro caratteristiche in termini, essenzialmente, di tipologia di distacco (cinematismo di rottura), dimensioni e geometrie delle masse; il tutto è stato finalizzato alla restituzione di una cartografia previsionale propedeutica alla pianificazione delle opere ed alla progettazione di interventi di mitigazione.

Per tale motivo, con riferimento all'incarico ricevuto, sono stati eseguiti rilevamenti tecnici in sito, contraddistinti dalle fasi di rilievo appresso descritte.

#### **Rilievi in sito**

*Sopralluogo operativo:* prima dell'avvio delle attività in campo, durante la fase di rilievo fotogrammetrico è stato eseguito anche il sopralluogo operativo approfondito di tutte le aree di indagine e sono state individuate le modalità di avvicinamento, la posizione ed il numero di calate. In tale fase sono stati individuati i punti e le tipologie da utilizzare per gli ancoraggi utili ai geologi rocciatori per l'esecuzione dei rilievi in piena affidabilità e in ottemperanza alla attuale normativa sulla sicurezza sul lavoro. Il posizionamento dei punti di calata è stato eseguito in funzione dell'assetto strutturale e geomorfologico dell'ammasso e della visibilità delle zone limitrofe, in modo da garantire la massima significatività di ciascuna linea di ispezione e la copertura dell'intero fronte. Durante il sopralluogo operativo sono state anche definite le posizioni dei punti di ripresa fotografica, in funzione delle calate, e di osservazione dal basso, per il posizionamento del geologo a terra.

*Pianificazione delle calate sul fronte verticale in funzione dell'assetto strutturale e della visibilità dei fronti;*

*Preparazione in sito delle calate, a mezzo di tecniche speleo-alpinistiche, e posizionamento dei punti di ripresa fotografica e di osservazione;*

*Esecuzione delle calate, per l'ispezione e rilievo deterministico del fronte, per il rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio:* i rilevamenti lungo le pareti rocciose sono stati eseguiti attraverso le calate svolte, mediante le più avanzate tecniche di progressione in corda, da parte di geologi rocciatori esperti in rilievi geostrutturali e geomeccanici, tutti dotati di certificazione per i lavori in altezza ai sensi del D.Lgs. 81 del 9 aprile 2008 e ss. mm. e ii. Questi hanno percorso i fronti, per il loro sviluppo verticale, con tecniche speleo-alpinistiche (con tecniche e sistemi di progressione certificati). Le calate, opportunamente distanziate, hanno permesso l'ispezione di tutti i fronti rocciosi. In tale fase sono state caratterizzate, localizzate e fotografate tutte le masse in condizioni di equilibrio precario o comunque significative per le valutazioni sulla stabilità dei fronti. Per ciascuna situazione sono state fornite una descrizione delle caratteristiche generali, il tipo di cinematismo di rottura atteso, le tre principali dimensioni e le caratteristiche delle discontinuità che ne determinano l'instabilità. E' stata anche fornita una stima della pericolosità basata sull'eventuale presenza di fattori predisponenti coattivi che possono influenzare l'evoluzione del dissesto. Tale stima della pericolosità, tuttavia non tenendo conto delle possibili cause scatenanti (condizioni meteorologiche, vibrazioni, sismi, interventi antropici diretti), in quanto non valutabili in fase di ispezione e oltre i fini del presente incarico, non può assumere una connotazione temporale probabilistica, per il verificarsi del dissesto. Sono quindi da intendersi solo come rappresentative dello stato di equilibrio delle masse e della gravità dell'azione dei diversi fattori destabilizzanti.



Figura 6: foto scattate durante le fasi di rilievo geomeccanico ed ispezione in parete eseguiti da geologi rocciatori

In tal senso sono state individuate quattro classi di pericolosità:

1. Masse a **bassa pericolosità** che rappresentano zone di attenzione dove si rilevano masse in posto, prive discontinuità dislocative ma che presentano evidenze geomorfologiche la cui evoluzione può determinare il sopraggiungere di condizioni di pericolosità (masse aggettanti compatte, porzioni scalzate, aree soggette a erosione differenziale); ovvero dove si rilevano massi svincolati ma in condizioni di equilibrio tali da escludere la possibile mobilitazione in assenza di interventi di trasformazione antropica (blocchi di dimensioni ridotte, incastrati e/o poggiati lungo pendii a bassa inclinazione o su terrazzamenti);
2. Masse a **media pericolosità** che rappresentano zone di attenzione dove l'assetto strutturale determina masse parzialmente svincolate e dove l'evoluzione morfologica determinata dall'azione di agenti morfogenici (erosioni differenziali, scalzamenti, azione bioclastica, nucleazione di fratture di neoformazione) potrebbe determinare potenziali situazioni di dissesto;
3. Masse a **alta pericolosità**, che rappresentano zone caratterizzate da un assetto strutturale, da morfologie e dalla presenza di fenomeni morfoevolutivi che predispongono al dissesto;
4. Masse a **pericolosità molto elevata**, che rappresentano masse in imminente dissesto, già completamente svincolate e/o in condizioni di equilibrio precario.

I rilievi geologici e geomorfologici, eseguiti durante le ispezioni, sono stati coordinati da geologi di supporto a terra, che hanno contemporaneamente eseguito un reportage fotografico di tutte le peculiarità con fotocamera reflex ad alta risoluzione dotata di zoom.

### 2.2.2 Rilievo geomeccanico

I rilevamenti geomeccanici sono stati eseguiti in campo seguendo le raccomandazioni ISRM, essi hanno avuto come obiettivo prioritario la caratterizzazione deterministica delle principali discontinuità predisponenti il crollo di masse instabili, di cui è stato condotto un accurato dimensionamento.

**stage srl**

sede legale

viale Gandhi, 72

81025 - Marcanise CE

Sede operativa

Via Forno Vecchio, 38

80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16

Fax: +39 081 1972 10 58

email: [info@stagesrl.com](mailto:info@stagesrl.com)

web: [www.stagesrl.com](http://www.stagesrl.com)

Si è scelto un approccio di tipo deterministico per il rilievo in parete per diverse motivazioni :

- la struttura del fronte risulta particolarmente omogenea (cfr Figura 6);
- le discontinuità rilevabili appartengono a pochi set e presentano spesso delle spaziature molto ampie (anche se localmente piuttosto variabili); sono presenti inoltre numerosi lineamenti definiti "random" spesso di neoformazione e legati al detensionamento corticale dell'ammasso;

I rilevamenti sono stati svolti in attenta osservanza delle metodologie di acquisizione raccomandate dalla "International Society of Rock Mechanics" (ISRM, Ulusay & Hudson, 2006), e attraverso la misura puntuale delle peculiarità delle discontinuità individuate lungo i fronti verticali.

La strumentazione utilizzata per l'esecuzione dei rilievi geomeccanici e geologici è stata la seguente:

bussola (Clar, Brunton o bussola digitale);

fotocamera digitale ad alta risoluzione;

martello di Schmidt per rocce;

pettine di Barton (profilografo);

soluzione HCl al 4% per la discriminazione dei cementi precipitati nelle fratture.

### **Descrizione delle grandezze misurate**

Come già accennato le discontinuità presenti in un ammasso roccioso ne condizionano il comportamento meccanico. Per questo motivo, è essenziale che la natura delle discontinuità venga descritta attentamente attraverso la determinazione dei suoi parametri caratteristici. Pertanto, per ogni singola discontinuità, sono state rilevate le caratteristiche brevemente descritte di seguito.

- **Giacitura**, ovvero azimut di immersione e inclinazione (la prima rappresenta il vettore indicativo della direzione di massima pendenza dello strato, la seconda rappresenta l'angolo che il vettore di immersione forma con il piano orizzontale);
- **Spaziatura normale del set** ( $X_n$ ), ovvero la distanza tra due piani appartenenti allo stesso set (famiglia) misurata lungo la normale ad essi. La spaziatura può essere anche misurata lungo una linea con orientazione conosciuta (tecnica adottata nell'esecuzione delle *scanline*) e trasformata così in spaziatura normale. Laddove possibile la spaziatura normale del set è stata misurata direttamente in campagna, in conformità con quanto suggerito nelle raccomandazioni della ISRM (Ulusay & Hudson, 2006). La media dei valori modali delle spaziature corrisponde all'indice di blocco (Block Size Index) che rappresenta una stima delle dimensioni dei blocchi. Classi di spaziatura:

Spaziatura						
Prossime	Molto vicine	Vicine	Distanti	Molto distanti	Lontane	Molto lontane
2	6	20	60	200	600	1000 cm

- **Tipo di discontinuità**, ovvero distinzione tra giunti di strato, joint, scistosità, clivaggi e faglie;
- **Persistenza**, intesa come lunghezza della discontinuità in esame e considerata come misura della traccia in superficie che il giunto genera. Nonostante la persistenza sia tra i parametri più difficili da valutare in campagna, essa è tra le più importanti al fine della caratterizzazione geomeccanica di un ammasso roccioso. Classi di persistenza:

Persistenza (m)				
Molto bassa	Bassa	Media	Alta	Molto alta
1	3	10	20	30

- **Rugosità**, stimata da osservazioni qualitative e mediante l'utilizzo di profili di raffronto con profili rilevati lungo la discontinuità. Essa identifica le asperità presenti sulla superficie dei giunti. È una caratteristica che influenza la resistenza al taglio e viene descritta sia a scala centimetrica che a scala metrica. Le misure dei profili di rugosità vengono eseguite, dove possibile, con l'utilizzo del profilometro (pettine) di Barton da 10 cm, in conformità con le raccomandazioni ISRM. Dai profili ottenuti viene ricavato, secondo schemi proposti dallo stesso Barton, un coefficiente JRC (*Joint Roughness Coefficient* -indice scabrezza delle superfici) come rappresentato nelle seguenti figure. Dove l'accesso alle discontinuità risulta impedito è

possibile comunque fornire una stima della scabrezza attraverso un raffronto visuale mediante l'utilizzo dei medesimi schemi.

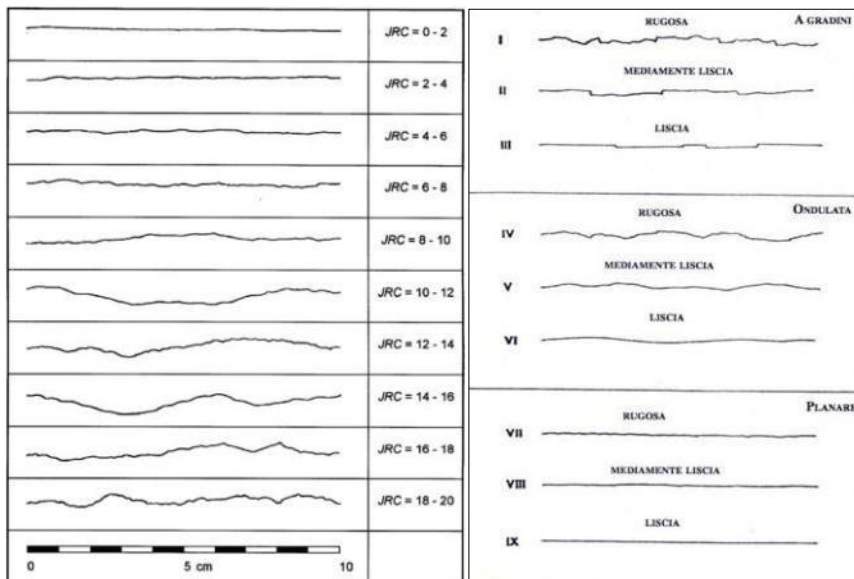


Figura 7: a sinistra profili di Barton; a destra profili di rugosità ISRM

- **Apertura;** rappresenta la distanza normale tra i lembi dei blocchi rocciosi che delimitano il giunto. L'apertura può fornire indicazioni sullo stato tensionale dell'ammasso (i.e. movimenti per taglio, allontanamento di due lembi, rilassamento di una compagine rocciosa etc). Classi di apertura:

Apertura delle Discontinuità - dimensioni in mm							
Chiuse			Beanti		Aperte		
Contigue	Attigue	Parzialmente aperte	Aperte	Molto aperte	Ampie	Molto ampie	Estremamente ampie
< 0.1	0.1-0.25	0.25-0.50	0.50-2.5	2.5-10	10-100	100-1000	>1000

- **Condizioni idrauliche;** ai fini della caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi è importante determinare le condizioni idrauliche delle superfici e dell'ammasso roccioso nel suo complesso, che permettono di valutare l'influenza delle pressioni interstiziali d'acqua sullo stato tensionale dell'ammasso. Le condizioni di filtrazione dell'acqua e di umidità delle discontinuità possono essere descritte in base alle classi in tabella:

Discontinuità' senza riempimento	
Grado di filtrazione	Descrizione
I	Discontinuità molto chiusa ed asciutta
li	Discontinuità asciutta senza evidenza di flusso
lii	Discontinuità asciutta ma con evidenze di circolazione (tracce di ossidazione)
lv	Discontinuità umida senza acqua libera
v	Discontinuità bagnata, gocce d'acqua, senza flusso continuo
vi	Discontinuità con flusso continuo (con stima della portata)
Discontinuità' con riempimento	
Grado di filtrazione	Descrizione
I	Riempimento consolidato e asciutto (impermeabile)
li	Riempimento umido, senza presenza d'acqua
lii	Riempimento bagnato, occasionali gocce d'acqua
lv	Riempimento con parziale dilavamento, flusso continuo d'acqua (con stima della portata)
v	Riempimento parzialmente dilavato, considerevole flusso d'acqua lungo i canali [stimare portata e pressione (alta, media, bassa)]
vi	Riempimento completamente dilavato, considerevole flusso d'acqua in pressione [stimare portata e pressione (alta, media, bassa)]

- **riempimento,** ovvero il tipo di materiale presente all'interno della discontinuità (cementi riprecipitati o sedimenti sia coesivi che incoerenti). La descrizione del riempimento è volta a caratterizzarne il comportamento fisico, lo stato di consistenza, la mineralogia, l'umidità presente e la sua permeabilità.

## 3 Elaborazione dati

### 3.1 Elaborazione dei dati GNSS

La georeferenziazione dei dati in un unico sistema di riferimento è stata realizzata attraverso tecniche di rilievo geodetico di precisione, mediante rilevamento GPS-GNSS, dei target (*GCP*) per la georeferenziazione dei rilievi fotogrammetrici.

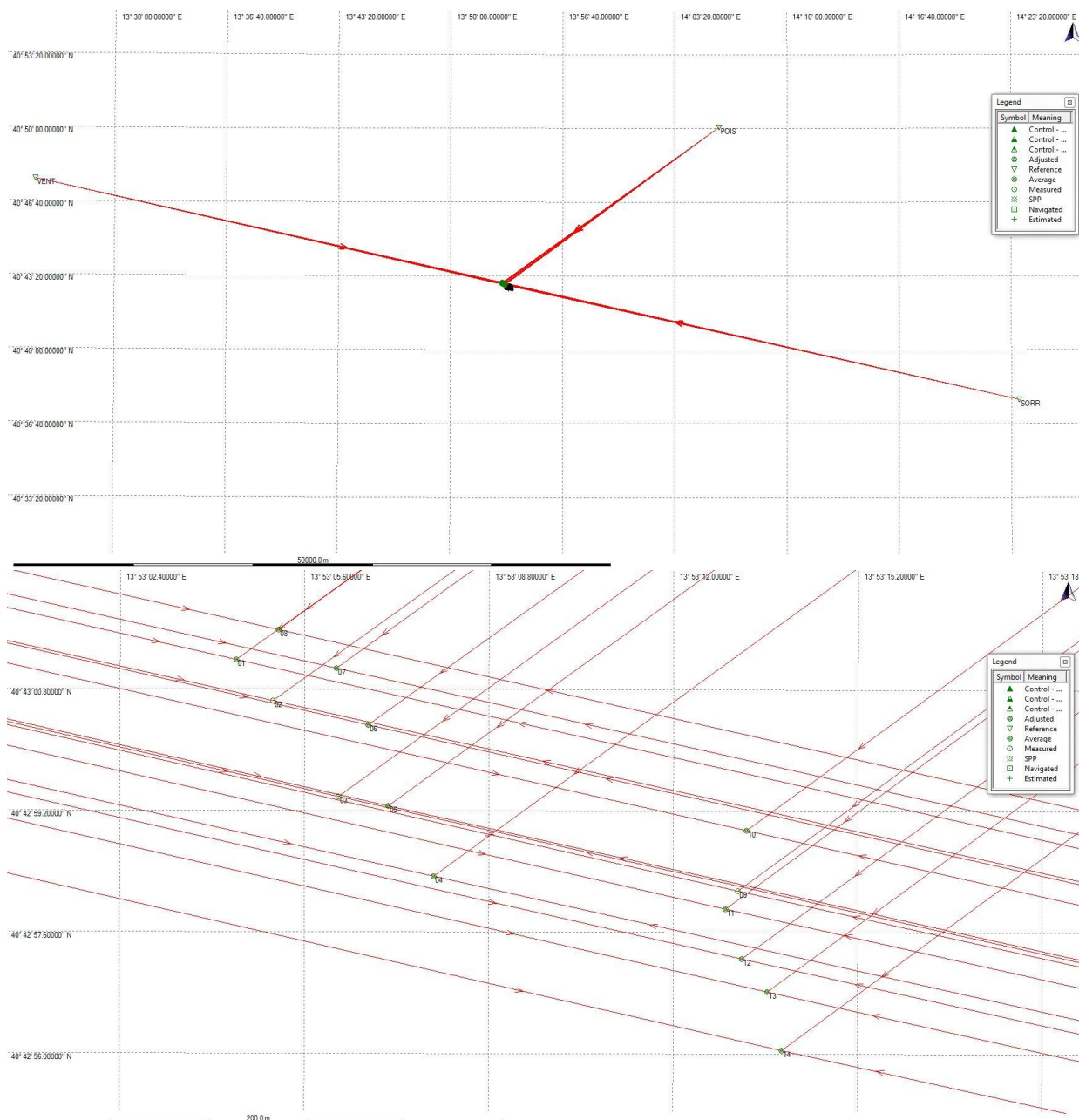


Figura 8: Fasi di post-elaborazione dei dati GNSS acquisiti in modalità statico veloce relativi ai target (*Ground Control Points*) inquadrati nel sistema di riferimento ETRF2000; i dati sono riferiti alle stazioni permanenti di Pozzuoli (POIS), Ventotene (VENT) e Sorrento (SORR); in alto) rappresentazione planimetrica di insieme in coordinate geografiche; in basso) rappresentazione planimetrica di dettaglio dell'area di rilievo in coordinate geografiche.

In questa fase si è utilizzata la strumentazione GPS-GNSS Leica Viva GS08plus, utilizzando un approccio di tipo statico-veloce, inquadrato nella rete permanente italiana ITALPOS. La pianificazione delle attività e l'approccio adottato hanno permesso di svolgere il rilievo GPS-GNSS in modo autonomo ottenendo le correzioni di rete sia in tempo reale (RTK) che attraverso il post-processing dei dati grezzi registrati in campo durante le modalità di rilievo statico.

Nonostante l'elevata accuratezza dei dati RTK, per tutti i capisaldi sono stati eseguiti la post-elaborazione ed il calcolo delle coordinate, attraverso la correzione differenziale delle coordinate di rilievo rispetto a 3 stazioni



della rete permanente, tramite l'acquisizione di file che riguardano le medesime finestre temporali di acquisizione in campagna.

Le stazioni di riferimento sono state quelle di Pozzuoli, Sorrento e Ventotene.

Il rilevamento nel medesimo sistema di riferimento di *ground control points* installati in parete nei diversi sistemi di riferimento, ha permesso la successiva georeferenziazione e messa in scala reale dei modelli tridimensionali ottenuti dal rilievo fotogrammetrico (Figura 8), in un unico sistema di riferimento assoluto ovvero UTM-ETRF2000.

### 3.2 Elaborazione del rilievo fotogrammetrico

L'elaborazione dati, secondo le richieste della committenza, è stata orientata alla produzione di modelli DSM da aerofotogrammetria e di ortofoto elaborate dagli stessi. L'obiettivo è stato la misurazione e rappresentazione di masse in eventuale dissesto e la ricostruzione di rappresentazioni virtuali degli affioramenti (*virtual outcrops*) ad elevata risoluzione, per attività di telerilevamento finalizzate alla valutazione delle condizioni di stabilità degli ammassi.

Per tali ragioni i dati sono stati elaborati intervenendo un modo non invasivo sugli stessi, al fine di conservare tutte le informazioni utili per la ricostruzione geologica.

L'elaborazione dei dati ha riguardato essenzialmente le fasi di seguito descritte.

#### 3.2.1 Selezione ed equalizzazione dei singoli fotogrammi;

L'acquisizione di immagini ad alta risoluzione in formato RAW consente l'intervento degli operatori in studio per lo sviluppo dei fotogrammi (Figura 9). Durante tale fase è stato applicato il più aggiornato profilo di correzione delle deformazioni disponibile per la combinazione di fotocamera e ottica utilizzati. Sono state equalizzate le immagini per quanto concerne il bilanciamento del bianco e i parametri di esposizione, al fine di ottenere, per tutte le immagini delle diverse strisciate, esposizioni corrette per zone omogenee, in modo da risultare perfettamente coerenti.



Figura 9: Fase di equalizzazione dei singoli fotogrammi

L'intervento di sviluppo fotografico migliora la qualità delle elaborazioni fotogrammetriche specialmente quando nella scena sono presenti zone contigue con forti variazioni di tono, che determinano casi di sovraesposizione e sottoesposizione, come avviene nel caso di affioramenti rocciosi (toni medio-alti), in prossimità di aree con vegetazione fitta (toni bassi). L'equalizzazione delle immagini, per ottenere una giusta esposizione delle aree di maggiore interesse, riduce fortemente la possibilità di errori di ricostruzioni ed il rumore nelle modellazioni 3D.

I file equalizzati sono stati esportati in formato JPG.

**stage srl**

sede legale

viale Gandhi, 72

81025 - Marcanise CE

Sede operativa

Via Forno Vecchio, 38

80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16

Fax: +39 081 1972 10 58

email: info@stagesrl.com

web: www.stagesrl.com

### 3.2.2 Allineamento delle immagini mediante *structure from motion*;

Le immagini equalizzate sono state opportunamente selezionate (rimuovendo quelle eccessivamente ridondanti) e importate nel software di elaborazione fotogrammetrica. Il software utilizzato è Agisoft PhotoScan Pro. Le immagini importate sono state inserite in uno spazio di lavoro (workspace) univoco e sono state allineate attraverso vari step che hanno riguardato: a) il pre-allineamento automatico delle immagini; l'individuazione di una serie di punti di controllo tra i vari fotogrammi (Ground Control Points - GCP); b) l'individuazione dei target usati sia come punti di controllo (GCP) per la calibrazione dei fotogrammi, sia per la messa in scala e la georeferenziazione dei modelli; c) l'ottimizzazione e la ricalibrazione delle fotografie attraverso la derivazione dei parametri di orientamento interno ed esterno della fotocamera. Quest'ultimo processo è reso possibile attraverso l'utilizzo di un elevato numero di fotografie con grande sovrapposizione, o in alternativa, utilizzando i dati di calibrazione della fotocamera per quanto concerne l'orientamento interno.

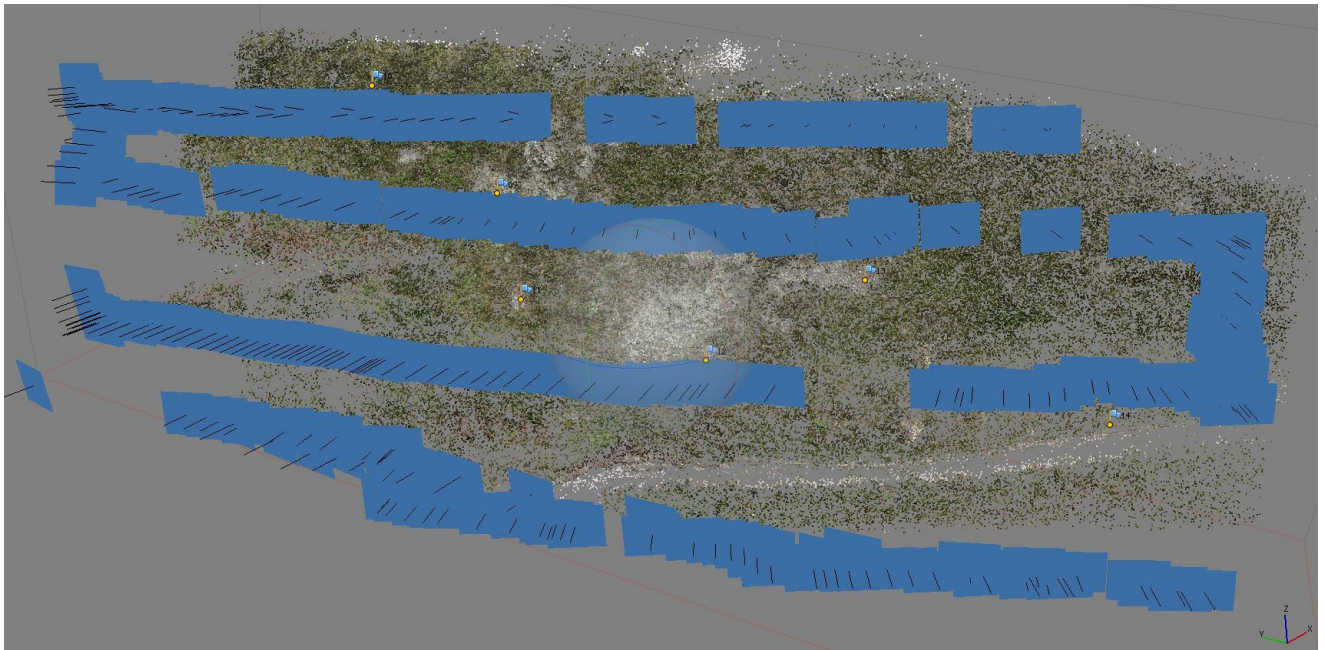


Figura 10: Punti di controllo omologhi individuati tra le singole immagini e rappresentazione (in azzurro) delle immagini (e degli assi di ripresa), allineate e georeferenziate

### 3.2.3 Georeferenziazione dei dati e messa in scala dei modelli

La georeferenziazione dei dati è avvenuta inserendo per ciascun *GCP* le coordinate UTM-ETRF2000 acquisite mediante rilievo topografico.

La procedura utilizzata ha consentito di georeferenziare e scalare tutti i modelli raggiungendo un'elevata accuratezza, limitando al minimo l'errore di georeferenziazione (1-2cm).

### 3.2.4 Filtraggio e ricostruzione della nuvola di punti densa (*dense point cloud*).

Le precedenti fasi di elaborazione hanno consentito di ricostruire una nuvola di punti georeferenziata costituita da tutti i punti omologhi riconosciuti tra le diverse fotografie (Figura 10). Questa nuvola è solitamente costituita da poche migliaia di punti e pertanto è insufficiente per la ricostruzione di modelli 3d accurati. Essa risulta, tuttavia, utile per una prima fase di filtraggio dei dati. Tale elaborazione si svolge attraverso il riconoscimento di punti anomali (outlier), legati ad errori di riconoscimento di punti omologhi, che vengono selezionati e rimossi; nella stesso modo sono stati selezionati e rimossi tutti i punti esterni all'area di rilievo e i punti relativi a oggetti non pertinenti al fine dei rilievi (cavi aerei, tralicci, vegetazione al contorno dell'area, etc.).

Per la ricostruzione delle *dense cloud* sono stati utilizzate qualità della ricostruzione da medie ad elevate, e modalità di filtraggio moderate, per raggiungere un giusto compromesso tra accuratezza dei dati e riduzione del rumore. In tal modo sono state ricostruite dense cloud utilizzando una risoluzione tale da garantire la risoluzione richiesta dalla committenza (spaziatura finale dei punti di 1-2 cm).

### 3.2.5 Filtraggio dei dati e ricostruzione di superfici tridimensionali (*meshing*).

Le dense cloud elaborate mediante il software di elaborazione fotogrammetrica (attraverso i precedenti passaggi, sono state esportate in un formato \*.ply per essere elaborate attraverso ulteriori algoritmi, al fine di ricostruire modelli 3d triangolati (3d mesh) accurati. Questi algoritmi consentono di operare un'ulteriore riduzione del rumore attraverso la rimozione statistica dei punti anomali (outlier).

Durante questa fase, disponendo di un modello 3d molto dettagliato, vengono selezionati e rimossi, manualmente, con maggior accuratezza tutti quei punti non pertinenti all'oggetto di studio.

Le dense cloud così filtrate sono state poi interpolate applicando l'algoritmo di Poisson (per la ricostruzione delle mesh 3d).

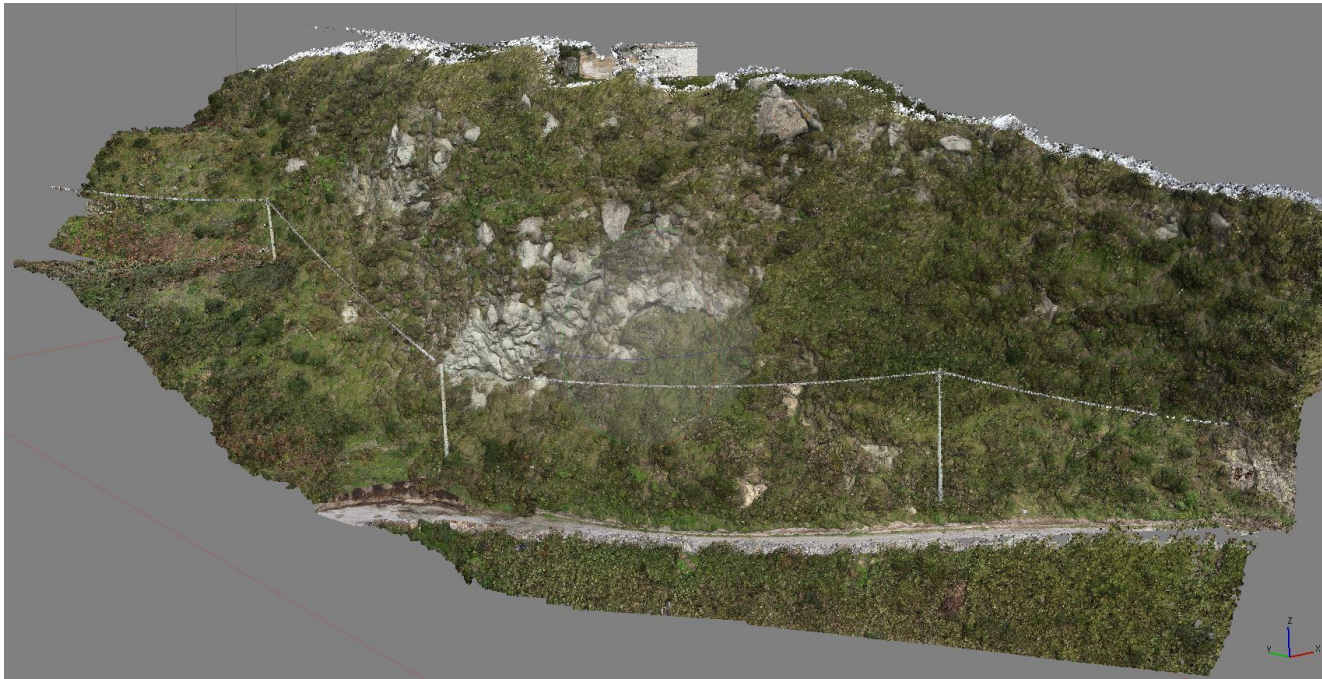


Figura 11: Dense cloud ricostruita per la zona di M.Faito, che sarà oggetto di filtraggio.

L'algoritmo utilizzato permette anche di generare mesh 3d colorate interpolando i parametri RGB dei punti che interpola. Tale opzione è stata utilizzata per elaborare delle mesh RGB già utilizzabili per le successive analisi tecniche.

Attraverso i passi sopra descritti sono stati realizzati modelli 3d continui (3d mesh) per le aree di rilievo estremamente accurati nelle aree con disponibilità di dati e ricostruite nelle circoscritte zone con dati meno densi. Le mesh sono state elaborate con risoluzioni di 3-5cm, ampiamente sufficienti per la scala di restituzione finale attesa (1:200 e 1:500).

### 3.2.6 Texturizzazione dei modelli 3d mesh e restituzione delle ortofoto.

Le mesh georeferenziate e filtrate sono state quindi reimportate nel software photoscan, nello spazio di lavoro in cui sono state generate le dense-cloud da cui esse derivavano. I modelli filtrati, essendo nel medesimo sistema di riferimento, sono stati utilizzati come base per la texturizzazione, per la generazione di virtual outcrop fotorealistici e come modelli geometrici per la restituzione delle ortofoto di precisione.

La risoluzione fotografica utilizzata per la texturizzazione è pari alla risoluzione nativa delle immagini ovvero con GSD compreso tra 0.5 e 1cm /px. Pertanto i modelli restituiti hanno quindi una risoluzione geometrica compresa tra 3 e 5cm e una risoluzione fotografica (GPD), pari alla risoluzione di rilievo in campo (GSD) compresa tra 1 e 2 cm.

Le ortofoto sono state restituite secondo piani di rappresentazione verticali paralleli alla direzione di sviluppo principale dei fronti, in modo da garantire una rappresentazione frontale intuitiva e rappresentativa dell'oggetto di rilievo.

**stage srl**

sede legale

viale Gandhi, 72

81025 - Marcanise CE

Sede operativa

Via Forno Vecchio, 38

80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16

Fax: +39 081 1972 10 58

email: info@stagesrl.com

web: www.stagesrl.com

I medesimi piani sono stati utilizzati come piano di riferimento per l'elaborazione di carte a curve di livello verticali.

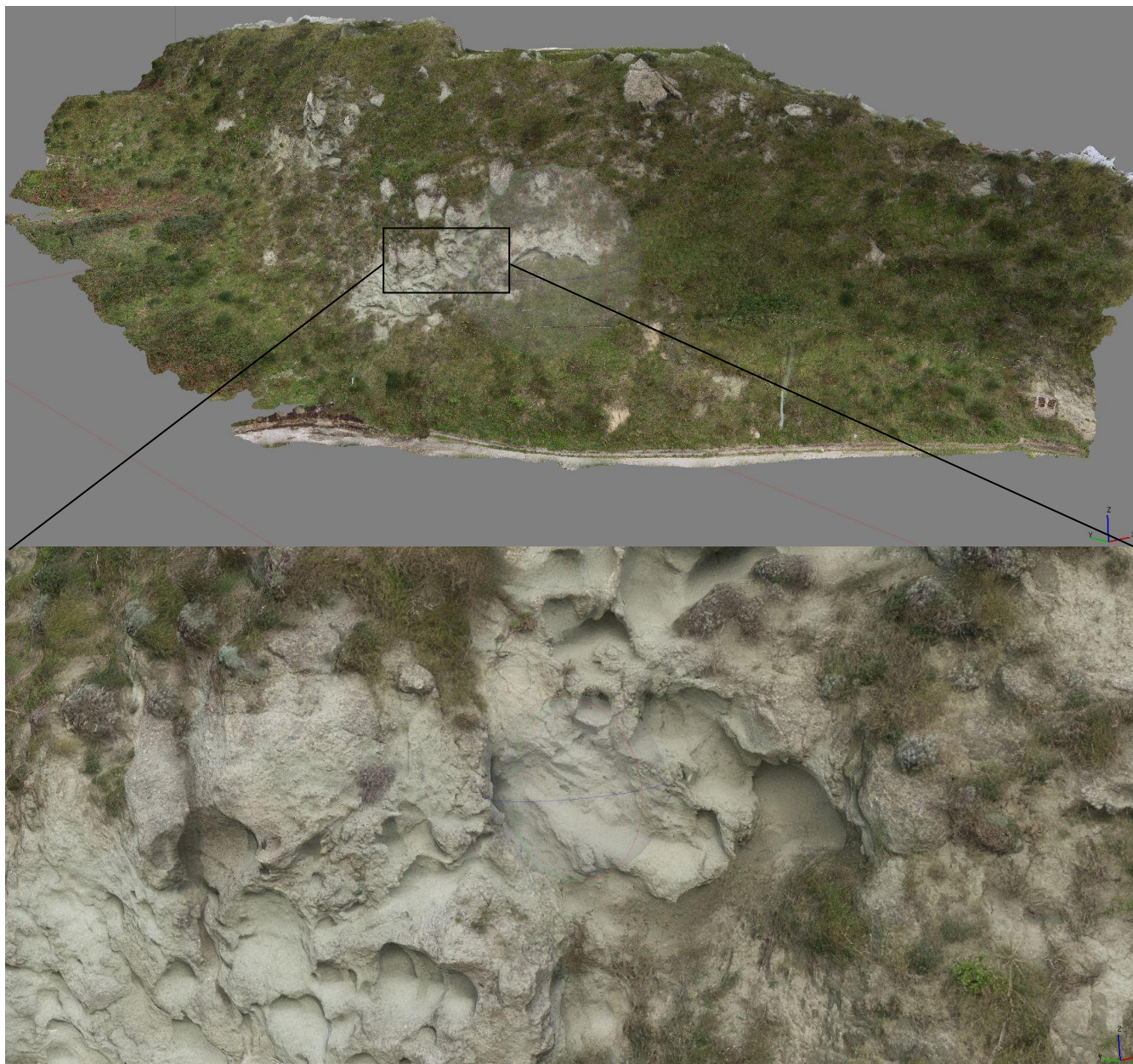


Figura 12: prodotto finale costituito da mesh 3d ad alta risoluzione, texturizzata: in alto) vista di insieme dell'area 1, in basso) dettaglio dell'area 1 che mostra l'alta risoluzione delle texture.

### 3.2.7 Elaborazioni in ambiente GIS

Attraverso l'esportazione della nuvola di punti e, in particolare, delle mesh triangolari, opportunamente disposte in un sistema di coordinate definite (relativo o assoluto), è possibile, grazie all'utilizzo di software GIS, integrare tutti i dati in un unico sistema di gestione informativa, permettendo di gestire simultaneamente sia i dati spaziali che le informazioni di tipo geologico, consentendo, in tal modo, di eseguire analisi spaziali dei dati che permettano di ricavare informazioni utili alle analisi tecniche.

Le analisi incentrate su elaborazioni spaziali, basate su procedimenti geostatistici in ambiente GIS, sono state restituite su planimetrie georiferite, o prospetti derivanti da proiezioni ortometriche dei fronti lungo definiti piani verticali.

I singoli elaborati prodotti ed i metodi di analisi utilizzati, sono descritti nei paragrafi posti a seguire.

### 3.3 Telerilevamento ed analisi morfometriche

#### 3.3.1 Telerilevamento

La disponibilità di *virtual outcrops* molto accurati ha permesso l'individuazione, la selezione e la restituzione, delle principali situazioni di dissesto rilevate in campagna, avvalendosi di software di modellazione 3d. Infatti, le masse, perfettamente visibili sui modelli texturizzati, sono state selezionate per tutta la superficie esposta e ne sono state verificate le dimensioni osservate in campo. Gli elementi selezionati, sono stati poi proiettati in riferimento ai piani di rappresentazione ortometrica individuati (piano orizzontale nel sistema UTM-ETRF2000 e piani di rappresentazione verticale ortometrica). Essi sono stati poi convertiti nei formati di interscambio con i software GIS. Ad ogni elemento (massa in dissesto) individuata e rappresentata è stato attribuito in campo un id univoco per ciascun'area che è servito per collegarvi di tutte le peculiarità osservate durante le fasi di ispezione. In tal modo è stato possibile redigere cartografie informative che rappresentano con accuratezza centimetrica tutte le masse individuate, sulle cartografie disponibili, corredate di tutte le informazioni acquisite in campo.

#### 3.3.2 Analisi morfometriche

In ammassi rocciosi costituiti da rocce poco coerenti, suscettibili di erosioni differenziali, l'osservazione geologica per la definizione delle condizioni di stabilità degli ammassi, deve considerare anche la combinazione di effetti morfogenetici. Per tali ragioni è stata svolta un'analisi morfometrica dei modelli tridimensionali disponibili, volta ad evidenziare tutte le aree interessate da tafoni. Tale analisi è stata eseguita in ambiente GIS sulla base di modelli digitali del terreno in rappresentazione verticale ortometrica.

In particolare, attraverso l'utilizzo di particolari *geoprocessing*, i set di dati spaziali sono stati elaborati per ottenerne informazioni morfometriche riguardanti la pendenza del fronte e la presenza di zone strapiombanti direttamente correlabili con le caratteristiche di stabilità del fronte.

Le classi di pendenza calcolate sono state così individuate:

- Verde: aree caratterizzate da morfologie suborizzontali esposte verso l'alto (0°-60°)
- Giallo: aree caratterizzate da morfologie da poco inclinate a verticali, esposte verso l'alto (60°-90°)
- Arancio: aree poco strapiombanti caratterizzate da morfologie da verticali a poco inclinate esposte verso il basso (90°-120°)
- Rosso: aree molto strapiombanti caratterizzate da morfologie suborizzontali esposte verso il basso (120°-180°)

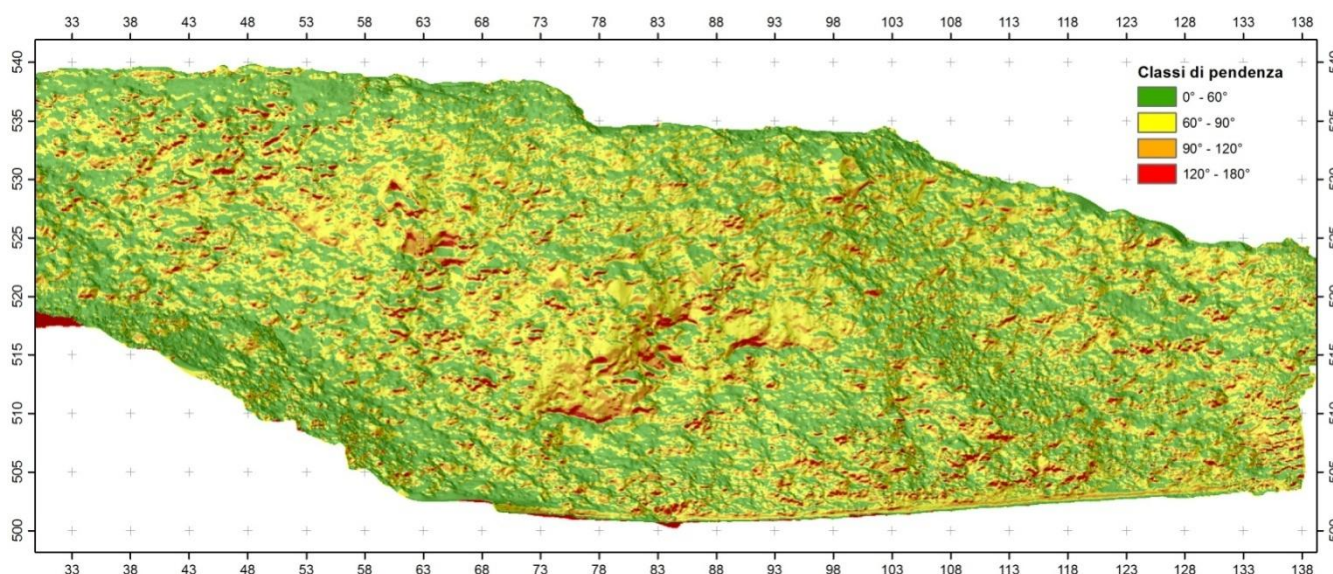


Figura 13: Carta morfometrica in proiezione ortometrica verticale dell'area 1, con rappresentazione delle classi di pendenza del fronte

Le zone strapiombanti sono state poi isolate e rappresentate nelle cartografie di sintesi descritte a seguire. Tali zone infatti corrispondono al tetto delle cavità dei tafoni e rappresentano la base di masse rocciose aggettanti anche di cospicue dimensioni, che possono raggiungere condizioni di instabilità.

### 3.4 Elaborazione dei dati geomeccanici

#### 3.4.1 Elaborazione dei dati giacitureali

I dati rilevati sono stati oggetto di un'analisi strutturale per la stima delle famiglie (o set) di discontinuità presenti, sulla base delle orientazioni e della tipologia di discontinuità. Il lavoro di stima dei set è stato condotto rappresentando graficamente i valori di *dip* (inclinazione) e *dip direction* (immersione) in stereoplot equiareali ed in diagrammi a rosetta (Figura 14). Questo lavoro ha consentito di riconoscere il numero e le orientazioni medie delle principali famiglie di discontinuità per le due aree indagate (area 1 e area2). I set sono stati individuati sulla base di un'analisi dei raggruppamenti di dati; i dati non ricadenti in nessuna delle famiglie riscontrate sono stati trattati *random* (**R**).

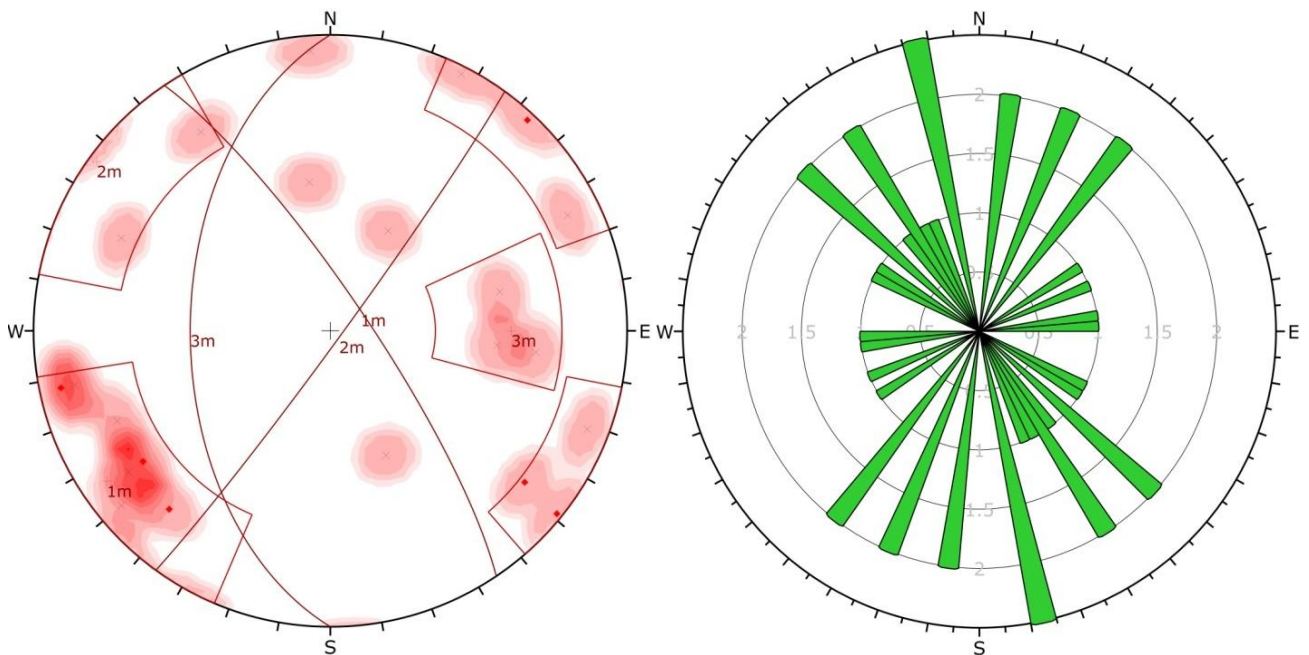


Figura 14: Esempio di contour plot (a sinistra) e rose diagram (a destra) dei dati acquisiti lungo l'intero fronte, per l'area 1, con rappresentazione dei principali set individuati.

#### 3.4.2 Condizioni di instabilità degli ammassi rocciosi

Le condizioni di instabilità di un versante in roccia, sia questo naturale o artificiale, vengono eseguite considerando il litotipo di cui è costituito come indeformabile. Le condizioni che sono alla base dei fenomeni di instabilità sono legate ad una serie di fattori di cui i più importanti sono: struttura geologica, stato tensionale dell'ammasso, resistenza delle discontinuità e della roccia, eventi sismici o vibrazioni artificiali, condizioni climatiche, processi naturali come i fattori morfogenetici, la crescita incontrollata della vegetazione, e fattori antropici tra i quali la riprofilatura, la deposizione, asportazione di materiali, la deforestazione e incuria.

Di tutti questi fattori, indubbiamente la struttura geologica (soprattutto le caratteristiche della roccia e delle discontinuità), è uno dei più importanti. Nell'ambito delle caratteristiche geologiche risulta di immediata intuizione che la geometria e l'orientamento delle discontinuità hanno un'importanza di primo piano sulle condizioni di stabilità di una scarpata, in quanto queste costituiscono all'interno dell'ammasso le zone di minore resistenza al taglio e quindi, le zone di preferenziale concentrazione delle deformazioni.

Nei casi più comuni, in condizioni di basso carico litostatico, come quelle che si verificano in prossimità della superficie, la tensione normale agente sui giunti è piuttosto bassa, per tanto questi possono essere facilmente aperti o soggetti a scivolamento. Il modo di rottura, in generale, dipende dal loro orientamento rispetto all'orientamento e all'inclinazione di un fronte. Ovviamente, sotto questo aspetto, acquistano importanza sia la frequenza che la continuità, o persistenza, delle discontinuità.

Nell'impostare le basi per un'analisi di stabilità occorre, pertanto, valutare tali relazioni. Per semplicità si assume generalmente che le discontinuità siano identificabili e possano essere descritte quantitativamente, che l'ammasso sia divisibile in zone strutturalmente omogenee costruendo un modello di fratturazione e che le superfici di rottura siano essenzialmente planari.

I modelli di rottura più frequentemente osservati nella pratica possono essere classificati in una delle quattro categorie seguenti, in funzione del tipo e del grado di controllo strutturale:

- **scivolamenti bidimensionali** (*planar sliding*), o piani, governati da una singola discontinuità immergente in concordanza con il fronte della scarpata;
- **scivolamenti tridimensionali** (*wedge sliding*) di cunei definiti da due discontinuità con una linea di intersezione immergente in concordanza con il fronte della scarpata;
- **ribaltamenti** (*toppling*) di lastre o di colonne di roccia definite da discontinuità e intersezioni di discontinuità che immergono, con forte inclinazione, all'interno della scarpata, che crollano per flessura (*flexural toppling*) o per effetto di piani di svincolo (*direct toppling*);
- **rotture lungo superfici di scivolamento circolari o mistilinee**, tipiche di ammassi molto fratturati, con altezza di scarpata molto elevata, o caratterizzati da resistenze al taglio molto basse.

È evidente che le prime tre tipologie di rottura principali sono controllate dall'assetto strutturale e, per queste le analisi cinematiche costituiscono un'indispensabile strumento di valutazione della stabilità; nell'ultimo caso diventano invece importanti i metodi di analisi utilizzati per i mezzi continui quali ad esempio le analisi all'equilibrio limite e agli elementi finiti, volte ad accertare lo sviluppo della superficie di scivolamento più critica per la stabilità. Tali metodi richiedono una attenta caratterizzazione delle proprietà geotecniche dei depositi considerati attraverso opportune prove di laboratorio.

L'analisi delle condizioni di stabilità del fronte in studio è stata condotta in base ai risultati del metodo cinematico che ha definito i meccanismi di instabilità possibili ed è servita come controprova alle osservazioni di campagna. In particolare è stata eseguita un'analisi dell'intero insieme di discontinuità rilevate e distinte in famiglie (set) al fine di determinare se la giacitura delle discontinuità e le sue peculiarità meccaniche possano indurre condizioni di instabilità, considerando ovviamente gli orientamenti principali delle scarpate per ciascun'area di indagine.

### 3.4.3 Cinematismi di rottura

Le analisi di stabilità cinematiche sono state eseguite per la valutazione dei potenziali meccanismi di rottura che si innescano lungo le discontinuità presenti nell'ammasso e per suffragare i dati raccolti in campagna. Le analisi sono state eseguite attraverso l'uso di proiezioni stereografiche, utilizzando diversi metodi noti in letteratura. Queste forniscono le informazioni cinematiche da utilizzare per le successive verifiche dinamiche che andranno condotte, integrando anche informazioni circa la resistenza al taglio delle discontinuità considerate, sulle pressioni agenti lungo tale superficie, integrando quindi anche informazioni sulle masse coinvolte, derivabili dalle informazioni tridimensionali fornite. Tali verifiche si eseguono, pertanto, in casi specifici quando, sulla base di accurate scelte progettuali, è necessaria la stabilizzazione di singole masse attraverso interventi puntuali.

I metodi di analisi di stabilità cinematica sono basati sulla rappresentazione dell'orientazione del pendio, dei piani di discontinuità e dell'angolo d'attrito delle discontinuità attraverso proiezioni stereografiche.

Per il sito in oggetto, viste la particolare omogeneità strutturale e la presenza di discontinuità dalla spaziatura e persistenza irregolare, le verifiche cinematiche sono state condotte soprattutto per suffragare i dati rilevati in campagna, ed in particolare i cinematismi di rottura attesi per le singole masse, la funzione di rottura o di svincolo delle discontinuità rilevate e la relativa pericolosità dei blocchi rilevati

Va segnalato che, ai fini dell'analisi dei cinematismi, i piani di discontinuità sono suddivisi in famiglie in funzione essenzialmente dell'orientazione e delle proprietà geomeccaniche. Di seguito si riporta una breve descrizione dei fenomeni predisponenti i tre principali meccanismi di rottura:

**Instabilità per scivolamento planare (*planar sliding*):** l'ammasso roccioso presenta superfici di svincolo laterale ed un'inclinazione del pendio maggiore di quella della superficie di scivolamento; la superficie di

**stage srl**

sede legale

viale Gandhi, 72

81025 - Marcanise CE

Sede operativa

Via Forno Vecchio, 38

80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16

Fax: +39 081 1972 10 58

email: info@stagesrl.com

web: www.stagesrl.com

scivolamento deve essere tuttavia affiorante, a franapoggio, e deve avere un'inclinazione maggiore dell'angolo di attrito. Le superfici che rispettano tali condizioni presentano, nelle proiezioni stereografiche, poli che ricadono all'interno della *daylight envelope* (cfr Lisle, 2004; Lim e Yang, 2004) la quale dipende dall'immersione del pendio. Sulle proiezioni stereografiche l'area critica è compresa tra la *daylight envelope* e un arco di cerchio rappresentante l'angolo di attrito.

**Instabilità per scivolamento per cuneo (*wedge sliding*):** l'inclinazione del pendio è maggiore di quella della linea di intersezione di due piani di discontinuità che delimitano il cuneo di roccia; la linea di intersezione deve essere affiorante e con inclinazione maggiore dell'angolo di attrito. Sulle proiezioni stereografiche l'area critica è delimitata dalla ciclografica rappresentante il versante è l'arco di cerchio delimitato dall'angolo di attrito posizionato nello stesso settore di immersione del pendio stesso. Le intersezioni dei piani ricadenti nell'area critica vengono considerate potenzialmente instabili con rottura a cunei.

**Instabilità per ribaltamento (*direct toppling e flexural toppling*):** il ribaltamento viene distinto in *flessurale* (coinvolgente larghe porzioni di roccia, evento non molto frequente) e *block toppling*, con ribaltamento di colonne con alla base un piano di discontinuità. Per quest'ultimo le caratteristiche predisponenti risultano essere oltre alla presenza di svincoli laterali nell'ammasso roccioso, la presenza di un giunto a tergo con inclinazione sufficiente a generare sforzi di taglio lungo il piano, ovvero con inclinazione maggiore della somma tra angolo d'attrito ed angolo complementare all'inclinazione del versante. La direzione di tale piano deve essere compresa in un range di  $\pm 30^\circ$  rispetto alla direzione del pendio (Goodman, 1980). Nelle proiezioni stereografiche l'area di instabilità (posizionata nello stesso settore di inclinazione del versante) è delimitata lateralmente da due linee radiali rappresentanti i limiti di scivolamento laterali (discontinuità predisponenti con direzioni inferiori a  $30^\circ$  rispetto al pendio) ed un arco di cerchio rappresentante il limite di scivolamento. L'immersione di tale cerchio è ricavata sottraendo all'inclinazione del pendio il valore dell'angolo d'attrito.



## 4 Descrizione dei report e degli elaborati cartografici prodotti

### 4.1 Report delle situazioni di instabilità

Le ispezioni in parete, condotte dai geologi-rocciatori coadiuvati da tecnici geologi a terra, in costante collegamento con gli stessi, hanno consentito di effettuare un censimento accurato delle situazioni di dissesto in atto o potenziale, presenti; sono state definite la posizione e le dimensioni di ciascun blocco instabile, il potenziale meccanismo di rottura atteso, le dinamiche predisponenti all'eventuale crollo.

#### Scheda tipo e legenda grafico-descrittiva - Report dei Massi Instabili

I valori riportati nei campi della "scheda tipo" sono inseriti a scopo puramente esplicativo. La differenziazione in "blocchi" e "dissesti", tiene conto della complessità intrinseca della massa instabile in termini soprattutto di fratturazione interna e potenziale evoluzione del crollo. Per blocco sono state considerate masse compatte che possono mantenere la propria integrità durante l'evoluzione del fenomeno di crollo. Un dissesto, come massa intrinsecamente fratturata, può invece facilmente evolvere in un cinematismo più complesso di quello indicato e prefigurarsi come un vero e proprio "rock avalanche".

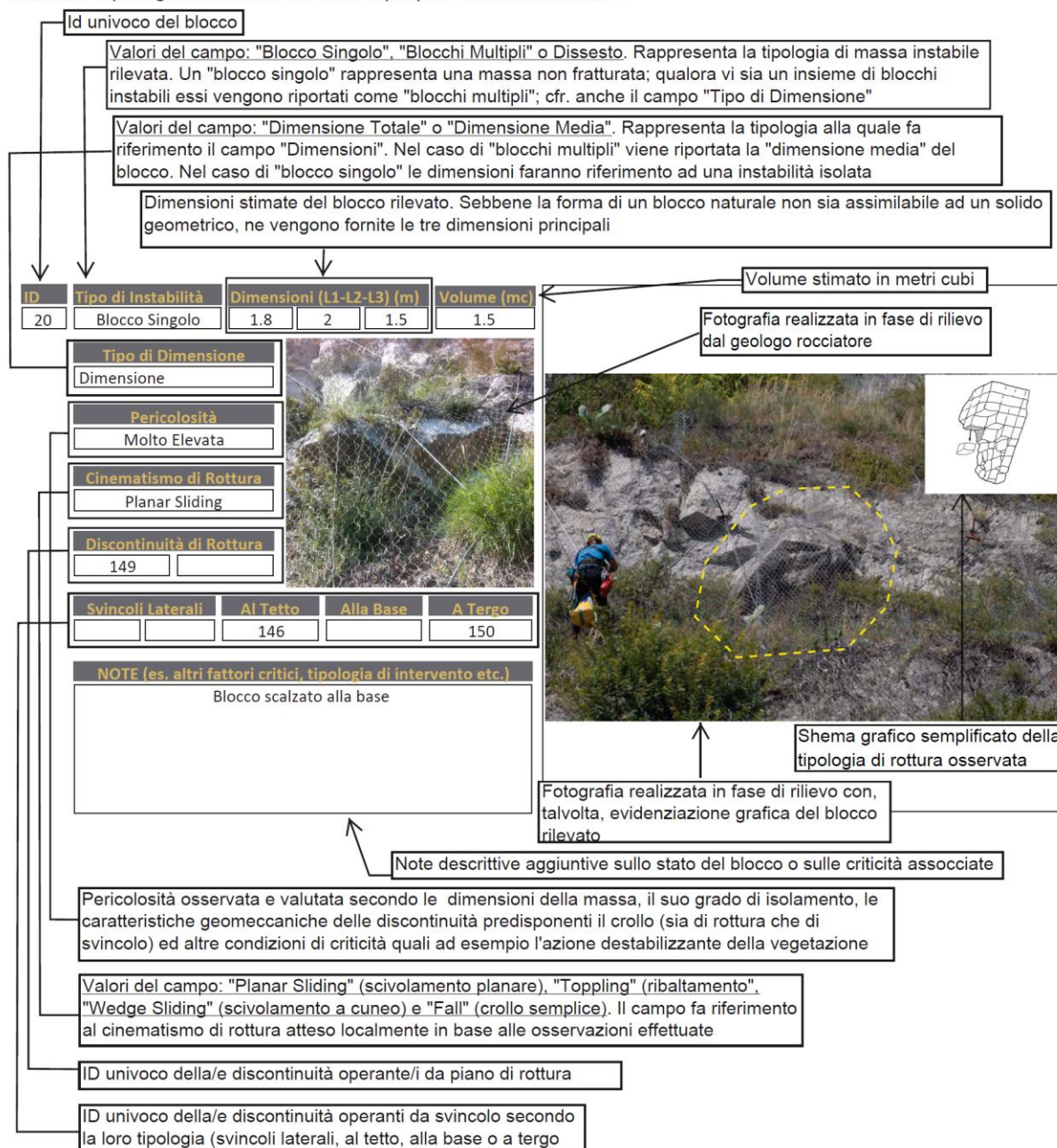


Figura 15: estratti di situazioni di dissesto potenziale derivato dall'elaborato "Report delle situazioni di instabilità", caratterizzato negli aspetti dimensionali, geomeccanici, della pericolosità e delle dinamiche evolutive, attraverso l'ispezione eseguita da geologi rocciatori.

E' stata altresì definita anche una classe di pericolosità in funzione della presenza di fattori predisponenti che influenzano l'evoluzione dei dissesti. Le osservazioni sono state organizzate in un rapporto per ciascuna area (C006-16-R02.0 e C006-16-R03.0 per l'area 1 e area 2 rispettivamente). Nell'ambito di tale rapporto, per ciascun elemento, identificato da un ID univoco, è stata redatta una scheda (scheda esplicativa - Figura 15) che sintetizza le caratteristiche descritte. Ogni scheda è corredata da apposite fotografie scattate durante le fasi di rilevamento.

Grazie al posizionamento su ortofoto, avvenuto in campagna simultaneamente alle attività in parete, così come all'osservazione delle foto scattate da terra e dall'analisi del modello tridimensionale, è stato possibile evidenziare e rappresentare in modo esatto, ogni masso sui modelli tridimensionali e, quindi, sulle restituzioni cartografiche bidimensionali derivate.

Tutti gli elementi rilevati e le caratteristiche osservate sono stati quindi inseriti in database georiferiti interrogabili, in ambito GIS, e sono sintetizzati graficamente nelle cartografie tematiche (C006-16-E01.0 e C006-16-F01.0) descritte nel paragrafo "elaborati cartografici".

## 4.2 Tabulato delle discontinuità rilevate

Nell'ambito dello studio qui presentato, la caratterizzazione geomeccanica e la valutazione della stabilità dei fronti è stata valutata attraverso un approccio di tipo "ibrido" basato su una valutazione deterministica delle situazioni di dissesto, lungo l'intero fronte, ed una caratterizzazione delle discontinuità dell'ammasso spesso agenti sulle masse sottoposte a ispezione. In tal modo è stato possibile valutare, con approccio deterministico, le caratteristiche di singole discontinuità che condizionano situazioni di dissesto potenziale. Per tale motivo è stato redatto un tabulato che viene posto in calce alla presente nota e che riporta tutte le caratteristiche geomeccaniche delle fratture rilevate, descritte nel rispetto delle linee guida dettate dall'ISRM. Per una pronta fruizione in fase progettuale, ogni discontinuità è caratterizzata da un id univoco, che la collega alla zona suscettibile al crollo (cfr. Allegato 01 - Tabulato caratteristiche geomeccaniche delle discontinuità).

## 4.3 Cartografia di Base

### 4.3.1 Carte topografiche planimetriche e prospettive

I modelli tridimensionali derivanti dai rilievi fotogrammetrici (DTM) e le procedure di georeferenziazione, finalizzate all'integrazione dei dati in un unico sistema di riferimento assoluto, costituiscono la base per tutte le analisi di tipo spaziale e per la restituzione delle cartografie di base, tematiche e derivate.

Il sistema di coordinate utilizzato è UTM-WGS84 (ETRF2000) così come descritto nelle metodologie di rilievo.

Attraverso l'interpolazione della nuvola di punti è stato possibile, grazie all'utilizzo di software GIS, ricavare modelli triangolati (DTM), sia planimetrici che prospettici, estremamente fitti; in particolare sono stati realizzati TIN per la realizzazione delle carte a curve di livello planimetriche e prospettive (Figura 16 e Figura 17).

Le carte prodotte sono di tipo vettoriale e rappresentano le aree di rilievo per curve di livello e feature topografiche.

La disponibilità di modelli fotogrammetrici ha permesso la restituzione di ortofoto ad altissima risoluzione che consentono la rappresentazione fotorealistica, nei sistemi di rappresentazione bidimensionale, e che hanno rappresentato la base di rilievo in campo.

I modelli 3d e i TIN elaborati sono stati ottimizzati ed filtrati per garantire una scala di rappresentazione in scala 1:200. Le ortofoto sono nella risoluzione massima acquisita in campo compresa tra 5 e 10mm in termini di G.S.D.

Le carte planimetriche (C006-16-A01.0) presentano anche indicazione della traccia del piano di proiezione verticale, utilizzati per la topografia prospettica.

Oltre alla classica rappresentazione a curve di livello e punti quotati (Figura 16). Tutte le features vettoriali, comprese le curve di livello, sono state sovrapposte a raster (hillshade) per una migliore visualizzazione delle

morfologie dei fronti e/o alle ortofoto, andando quindi a costituire anche ortofotocarte nelle rappresentazioni planimetriche e prospettive (Figura 16 e Figura 17, elaborati C006-16A01.0 e C006-16-B01.0).

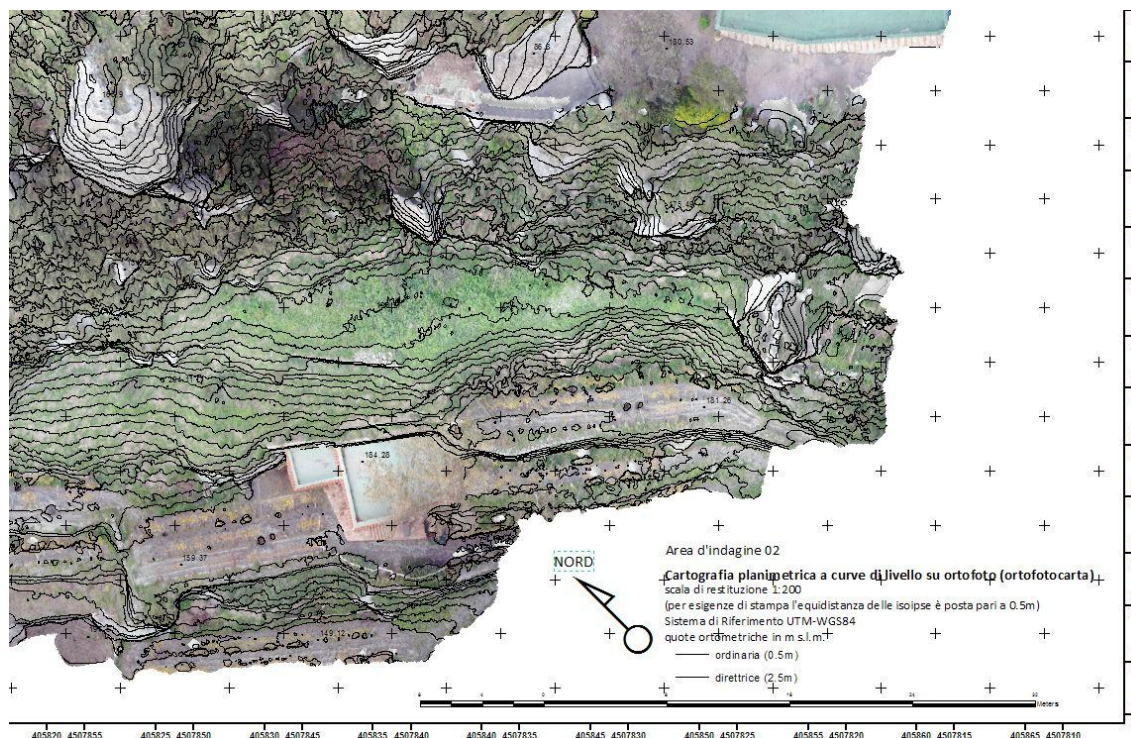


Figura 16: estratto della cartografia di base sovrapposta ad ortofoto (ortofotocarta) dell'area 2, codice elaborato C005-15-B01.0

Nell'ambito delle cartografie le zone di copertura vegetale rappresentano aree per le quali i dati hanno una minore risoluzione spaziale e un maggior grado di rumore e/o di interpolazione per tutte le cartografie di base e derivate restituite.

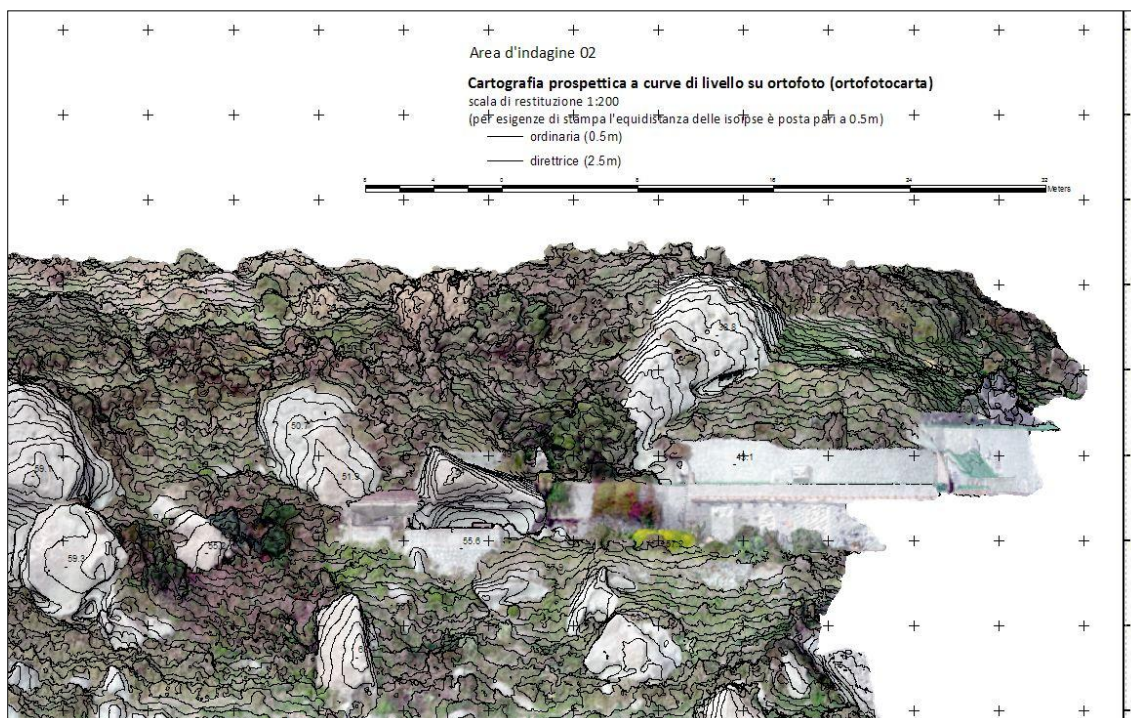


Figura 17: estratto dell'ortofotocarta prospettica dell'area 2, codice elaborato C005-15-B01.0

#### 4.4 Cartografie morfometriche, planimetriche e prospettive

L'utilizzo di nuvole di punti proiettate nei due sistemi (planimetrico e prospettico) utilizzati per la redazione dei modelli digitali (DTM, e DEM raster) integrati in un unico ambiente GIS hanno permesso l'elaborazione di l'analisi delle caratteristiche morfometriche utili alla individuazione delle condizioni di pericolosità ascrivibili

all'azione di fattori morfogenetici. Tra queste, sicuramente riveste un importante ruolo, lo studio della pendenza (angolo di pendenza formato tra la normale alla singola cella e l'asse verticale Z) delle unità di superficie che compongono il rilievo.

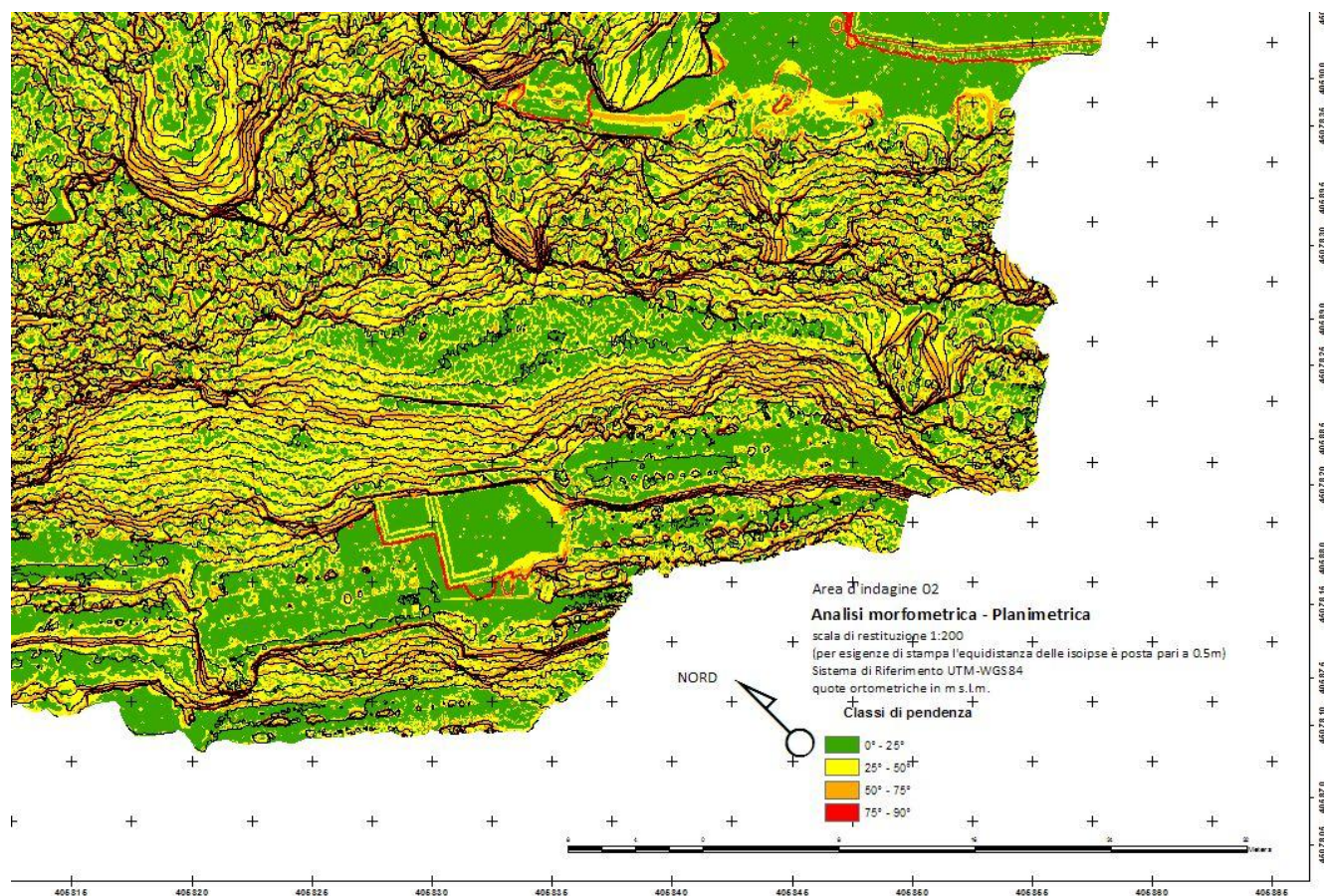


Figura 18: estratto della carta delle pendenze per l'area 2 in rappresentazione planimetrica, codice elaborato C006-16-D01.0.

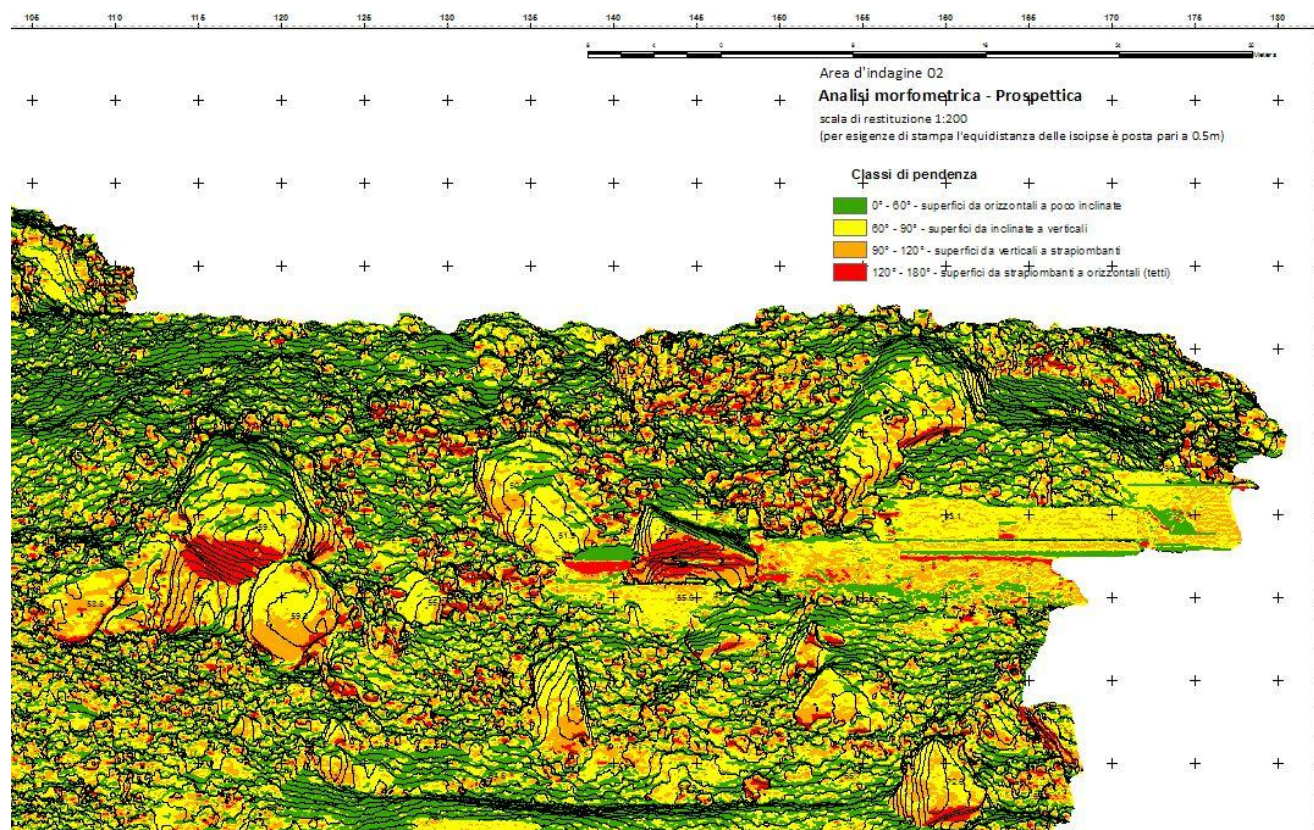


Figura 19: estratto della carta delle pendenze per l'area 2, in rappresentazione prospettica, dove è possibile notare nelle colorazioni arancione e rosso le aree strapiombanti, codice elaborato C006-16-D01.0

Dall'analisi delle pendenze su modelli 3d, infatti, è possibile individuare, non solo le porzioni di fronte più verticali, verso le quali orientare maggiore attenzione, ma anche le aree strapiombanti per effetto di erosione differenziale e scalzamento al piede, fenomeno molto frequente in presenza di fattori morfoselettivi quali l'erosione eolica etc. Per tali ragioni si è ritenuto opportuno restituire la cartografia delle pendenze insieme agli altri elaborati di sintesi finale.

Allegate alla presente infatti sono restituite gli elaborati con codice C006-16-C01.0 e C006-16-D01.0 per le aree 1 e 2 rispettivamente nelle quali vengono rappresentate le pendenze in rappresentazioni planimetriche e ortometriche verticali.

Le cartografie numeriche delle pendenze sono restituite sotto forma di immagini raster (planimetriche e prospettico), ad alta risoluzione, con una dimensione di cella di circa 5cm di lato, sufficiente per rappresentare dettagli nella scala 1:200.

Le pendenze sono state rappresentate nelle visioni planimetriche secondo classi di pendenza che ricoprono l'intervallo 0-90° (Figura 18). Nelle rappresentazioni prospettiche le pendenze sono state rappresentate per classi di pendenza evidenziando anche le aree da verticali a poco strapiombanti, e molto strapiombanti, non rappresentabili in planimetria, con pendenze (angolo formato tra la normale alla cella e l'asse verticale) negli intervalli di 90°-120° e di 120°-180° rispettivamente (Figura 19).

#### 4.5 Carta dei dissesti in atto o potenziali

Le osservazioni svolte durante le ispezioni in campo, svolte in parete da geologi rocciatori, sono state direttamente in campo, contemporaneamente alle attività di ispezione, utilizzando le ortofoto ad alta risoluzione disponibili a seguito dell'elaborazione dei dati fotogrammetrici. I dati raccolti, sono poi stati successivamente trasferiti sui modelli tridimensionali texturizzati ad alta definizione (anche georiferiti in coordinate assolute) e quindi in GIS: essi sono stati rappresentati attraverso la selezione precisa, sui modelli digitali, delle porzioni interessate e sono state quindi rappresentati in cartografia sotto forma di areali.

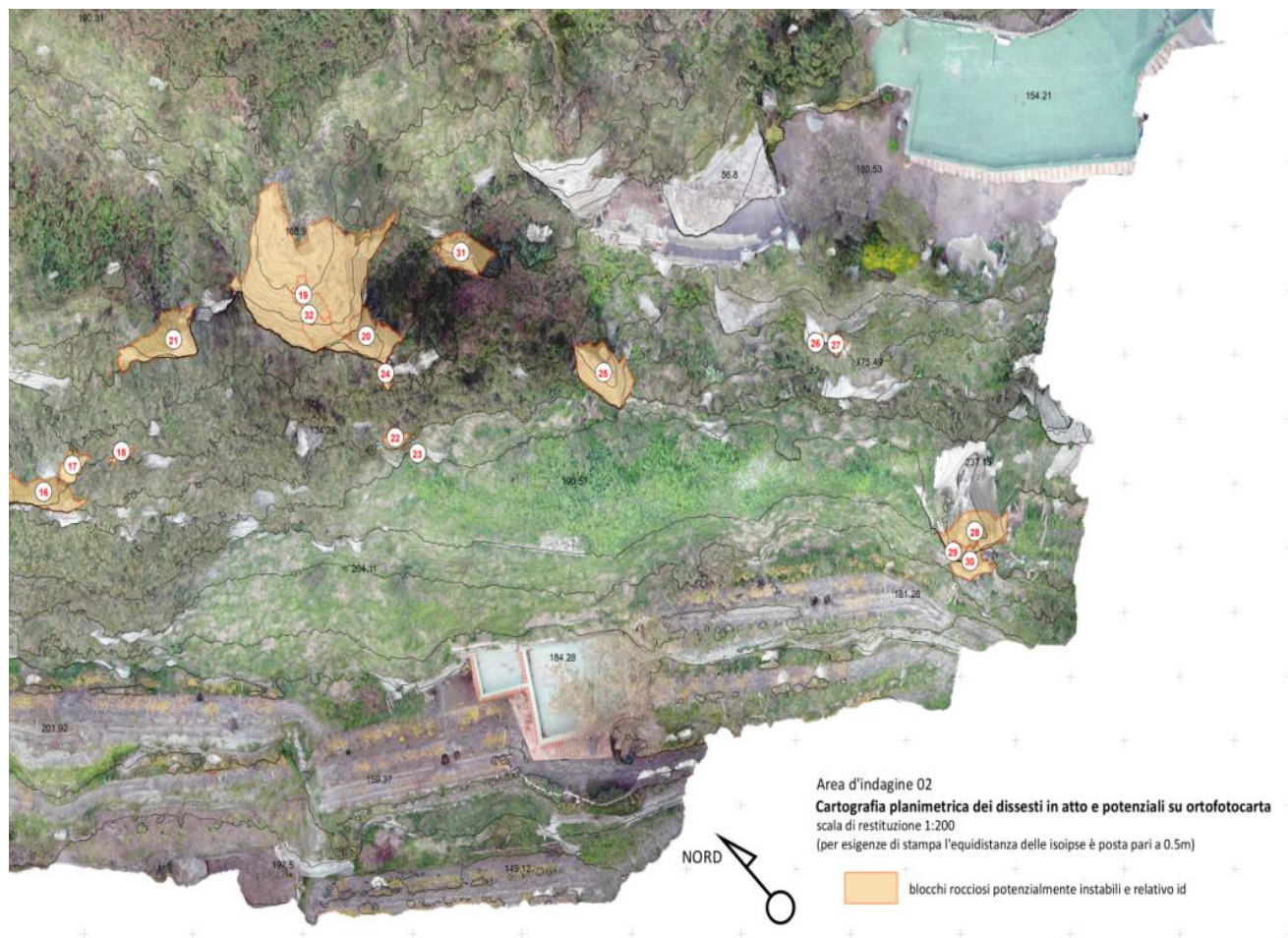


Figura 20: estratto planimetrico della carta dei dissesti dell'area2 (elaborato C006-16-F01.0)

**stage srl**

sede legale  
viale Gandhi, 72  
81025 - Marcanise CE

Sede operativa  
Via Forno Vecchio, 38  
80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16  
Fax: +39 081 1972 10 58  
email: info@stagesrl.com  
web: www.stagesrl.com

I risultati delle ispezioni, pertanto, oltre ad essere restituiti sotto forma di report (cfr. elaborato C006-16-R02.0 e C006-16-R03.0) sono stati restituiti anche sulle cartografie planimetriche e prospettiche (C006-16-E01.0 e C006-16-F01.0).

Operando in ambiente GIS si è quindi costruito un database collegato alla base cartografica in cui i blocchi censiti e le aree in dissesto sono univocamente individuati e risultano interrogabili direttamente su modello 3D; le *features* presenti richiamano direttamente alle schede dei report massi ed aree di instabilità censiti (cfr. elaborato C006-16-R02.0 e C006-16-R03.0), fornendo durante l'interrogazione dei modelli digitali, tutte le informazioni acquisite, offrendo anche la possibilità di visualizzare la fotografia di riferimento.

In questi elaborati cartografici redatti nelle rappresentazioni planimetriche e prospettiche per ciascuna zona (C006-16-E01.0 e C006-16-F01.0, per le aree 1 e 2 rispettivamente) le situazioni di dissesto evidenziate sono caratterizzate da un ID univoco (Figura 20, Figura 21) e corredate di tutte le informazioni riportate anche nei suddetti report.



Figura 21: estratto dellarappresentazione prospettica della carta dei dissesti dell'area2 (elaborato C006-16-F01.0)

I blocchi sono inoltre classificati secondo la pericolosità stimata dai geologi-rocciatori attraverso l'osservazione diretta di diversi aspetti che possono interagire come cause predisponenti all'innesco di dissesti. . Tale stima della pericolosità, tuttavia non tenendo conto delle possibili cause scatenanti (condizioni meteorologiche, vibrazioni, sismi, interventi antropici diretti), in quanto non valutabili in fase di ispezione e oltre i fini del presente incarico, non può assumere una connotazione temporale probabilistica, per il verificarsi del dissesto. Sono quindi da intendersi solo come rappresentative dello stato di equilibrio delle masse e della gravità dell'azione dei diversi fattori destabilizzanti.

#### 4.6 Cartografia di sintesi tematica

La cartografia di base e i dati tridimensionali di partenza sono stati utilizzati, congiuntamente ai rilievi geomeccanici e alle analisi interpretative di tipo geostrutturale e morfometrico, per l'elaborazione, attraverso analisi geostatistiche in ambiente GIS di cartografie tematiche e derivate di sintesi. Questi elaborati, derivano tutti, così come la cartografia di base sinora discussa, da elaborazioni in scala 1:200.

#### 4.6.1 Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica

I rilievi di estremo dettaglio, condotti in parete, hanno previsto l'esecuzione di ispezioni dei fronti, con segnalazione e censimento dei blocchi instabili e delle situazioni di dissesto più complesse. Essi inoltre hanno consentito di individuare il ruolo svolto da diversi fattori e dinamiche evolutive che possono comportare l'instaurarsi di fenomeni di dissesto geologico.

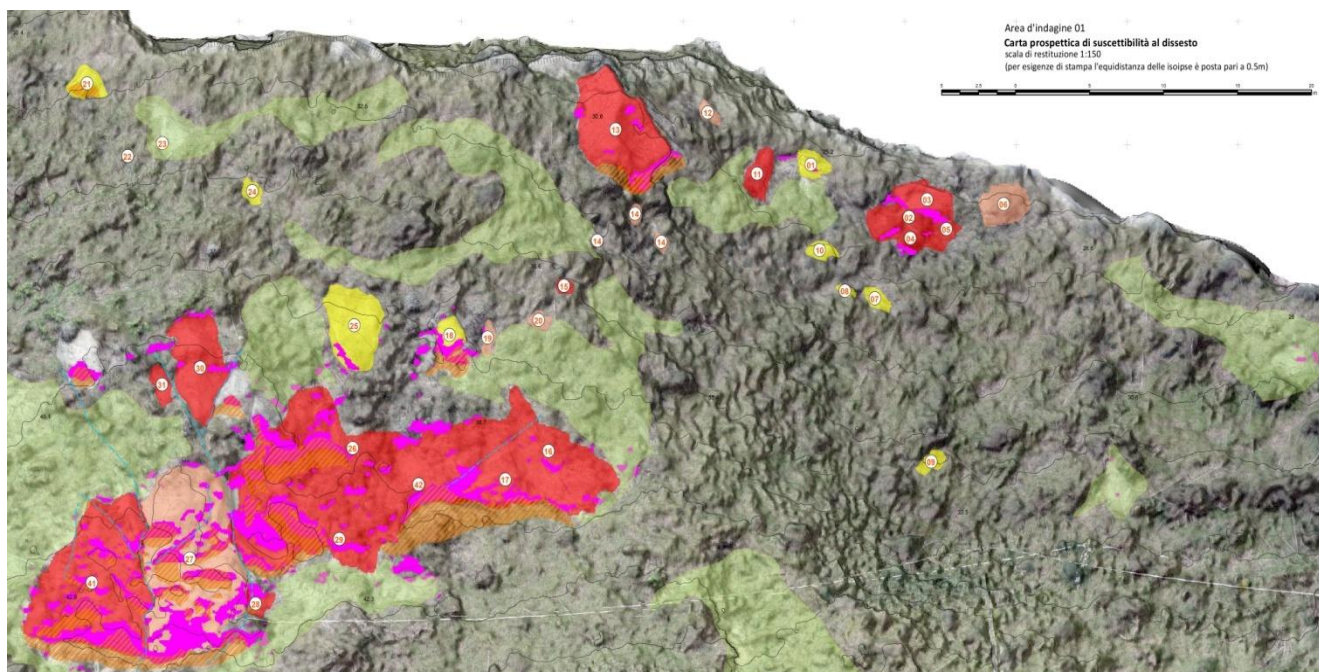


Figura 22: estratto dalla "Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica" codice elaborato C001-16-G01.0; in alto) estratto dell'area1; in basso) estratto dell'area2

Le masse sono rappresentate in classi di colore in funzione della stima di pericolosità fatta direttamente in fase di rilevamento in campo. Questa valutazione è basata sull'eventuale presenza di fattori predisponenti coattivi che possono influenzare l'evoluzione del dissesto. Tale stima della pericolosità, tuttavia, non tenendo conto delle possibili cause scatenanti (condizioni meteorologiche, vibrazioni, sismi, interventi antropici diretti), in quanto non valutabili in fase di ispezione e oltre i fini del presente incarico, non può assumere una

**stage srl**

sede legale  
viale Gandhi, 72  
81025 - Marcanise CE

Sede operativa  
Via Forno Vecchio, 38  
80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16  
Fax: +39 081 1972 10 58  
email: info@stagesrl.com  
web: www.stagesrl.com

connotazione temporale probabilistica, per il verificarsi del dissesto. Sono quindi da intendersi solo come rappresentative dello stato di equilibrio delle masse e della gravità dell'azione dei diversi fattori destabilizzanti.

Le classi utilizzate a tal fine sono le seguenti:

- Masse a bassa pericolosità che rappresentano zone di attenzione dove si rilevano masse in posto, prive discontinuità dislocative ma che presentano evidenze geomorfologiche la cui evoluzione può determinare il sopraggiungere di condizioni di pericolosità (masse aggettanti compatte, porzioni scalzate, aree soggette a erosione differenziale); ovvero dove si rilevano massi svincolati ma in condizioni di equilibrio tali da escludere la possibile mobilitazione in assenza di interventi di trasformazione antropica (blocchi di dimensioni ridotte, incastrati e/o poggiati lungo pendii a bassa inclinazione o su terrazzamenti);
- Masse a media pericolosità che rappresentano zone di attenzione dove l'assetto strutturale determina masse parzialmente svincolate e dove l'evoluzione morfologica determinata dall'azione di agenti morfogenici (erosioni differenziali, scalzamenti, azione bioclastica, nucleazione di fratture di neoformazione) potrebbe determinare potenziali situazioni di dissesto;
- Masse a alta pericolosità, che rappresentano zone caratterizzate da un assetto strutturale, da morfologie e dalla presenza di fenomeni morfoevolutivi che predispongono al dissesto;
- Masse a pericolosità molto elevata, che rappresentano masse in imminente dissesto, già completamente svincolate e/o in condizioni di equilibrio precario.

Oltre ai dissesti riconosciuti in modo puntuale, sono rappresentati in cartografia (Figura 22) anche altre tipologie di fenomeni che determinano condizioni di pericolosità dei fronti, quali ad esempio le zone dove affiorano tufi particolarmente alterati e disgregati, in zone di faglia, che danno origine ad zone con erosione areale diffusa ed aree alveolizzate e con erosione eolica più spinta, qui si rilevano masse aggettanti poco compatte e spesso anche svincolate dalle discontinuità presenti. Queste aree possono dare origine a frane di piccole dimensione sotto forma di rock-avalanches, che vanno ad alimentare i coni e le falde detritiche al piede del versante; tuttavia, considerate le scarse proprietà geomeccaniche del tufo, in queste fasce, non è possibile escludere fenomeni gravitativi più cospicui specialmente nelle aree dove è più spinto l'effetto dello scalzamento al piede.

Nelle tavole di sintesi sono rappresentate anche le aree strapiombanti che rappresentano, quasi sempre, le porzioni superiori dei tafoni e degli altri tipi di forme di erosione per corrasione eolica. Esse, spesso, costituiscono la base di masse aggettanti che possono raggiungere condizioni di instabilità per scalzamento al piede, specie laddove sono presenti discontinuità di svincolo. Le aree di estensione maggiore rappresentano strapiombi più sviluppati verso i quali va indirizzata maggiormente l'attenzione in fase di progettazione delle opere di mitigazione



## 5 Discussione dei risultati delle analisi svolte

### 5.1 Introduzione

L'area oggetto di studio è caratterizzata da due versanti rocciosi (Figura 1) localizzati nella porzione sud-occidentale del M. Epomeo, in località Scarrupata, nel comune di Serrara Fontana (NA), sull'isola d'Ischia, ad una quota compresa tra i 450 ed il 550 m s.l.m. In tale area sono presenti due fronti da molto inclinati (>50°) a sub-verticali caratterizzati da affioramenti di rocce tufacee generatesi dall'attività eruttiva e morfoevolutiva del Monte Epomeo e dell'intera isola d'Ischia.

Dal punto di vista morfologico le due aree in esame rappresentano la parte sommitale del versante occidentale del M. Epomeo.

In particolare l'area 1 corrisponde ad una scarpata a pendenza elevata (circa 60°) che interessa la porzione sommitale della dorsale presente in località Scarrupata. Quest'area è interessata da una zona di affioramento, piuttosto continua, di roccia tufacea ai piedi della quale si riconoscono falde e conoidi di detrito sciolto. Le porzioni di roccia affiorante raggiungono pendenze elevate, fino alla verticalità, e risultano debolmente vegetate, mentre le zone detritiche sono caratterizzate da pendenze più blande (40-50°) e sono interessate da una fitta vegetazione arbustiva. Localmente le falde detritiche possono raggiungere le sezioni più alte del fronte.

L'area 2 è una porzione del più esteso versante occidentale del M. Epomeo, e si presenta a tratti terrazzata, specialmente nella porzione più bassa tra quelle in studio. La parte sommitale della stessa risulta invece meno terrazzata, con un angolo medio di pendio di circa 40°. Tale area è caratterizzata dalla presenza di numerosi affioramenti di rocce tufacee che interrompono la monotonia del pendio e localizzano le principali situazioni di instabilità. Essi sono interrotte da lingue detritiche sciolte interessate da fitta copertura arbustiva e dagli interventi antropici di terrazzamento.

Tali depositi subiscono, a vario grado, l'influenza di diversi fattori, la cui interazione può predisporre all'instaurarsi di condizioni di instabilità. I principali fattori naturali, che condizionano la stabilità degli ammassi sono di seguito elencati:

- Struttura geologica, in termini di litotipi presenti e delle caratteristiche meccaniche intrinseche;
- Alterazione superficiale (*weathering*)
- Erosione meccanica, e/o fisico-chimica, degli ammassi ad opera dei diversi fattori morfogenetici
- Assetto geostrutturale, in termini di condizioni delle discontinuità dell'ammasso, numero di set, persistenza, spaziatura, orientazione delle discontinuità ed orientazione rispetto ai fronti;

In base alle osservazioni svolte in campo, alle attività di telerilevamento e di analisi morfometrica condotte sui modelli tridimensionali, è stato possibile riconoscere il ruolo svolto dalle diverse componenti sopra elencate e di stimarne i rapporti anche in relazione al grado di stabilità in modo puntuale per le diverse aree individuate.

### 5.2 Caratteristiche geologiche degli ammassi

Il fattore che maggiormente controlla le dinamiche evolutive di un fronte è costituito dalle caratteristiche geologiche e strutturali degli ammassi rocciosi presenti. Nell'area di studio affiorano rocce "tenere", costituite da cineriti alterate di colore grigio-verdastro a grana solitamente medio-grossolana, con sospesi abbondanti lapilli pomicei, talvolta sub-arrotondati, a tratti clastosostenuti. I depositi si presentano con struttura massiva e tessitura caotica e da poco coerenti a moderatamente coerenti. Essi sono ascritti alla formazione del Tufo del Monte Epomeo (cfr. Figura 23, Carta Geologica D'Italia, progetto CARG, foglio 464 Isola D'Ischia, scala 1:50000). Le aree ricoperte da vegetazione, prive di rocce affioranti, sono caratterizzate da depositi di copertura sia originatisi in situ (coni e falde detritiche) sia trasportati in loco da movimenti franosi a scala di rilievo (depositi da debris avalanches e simili).

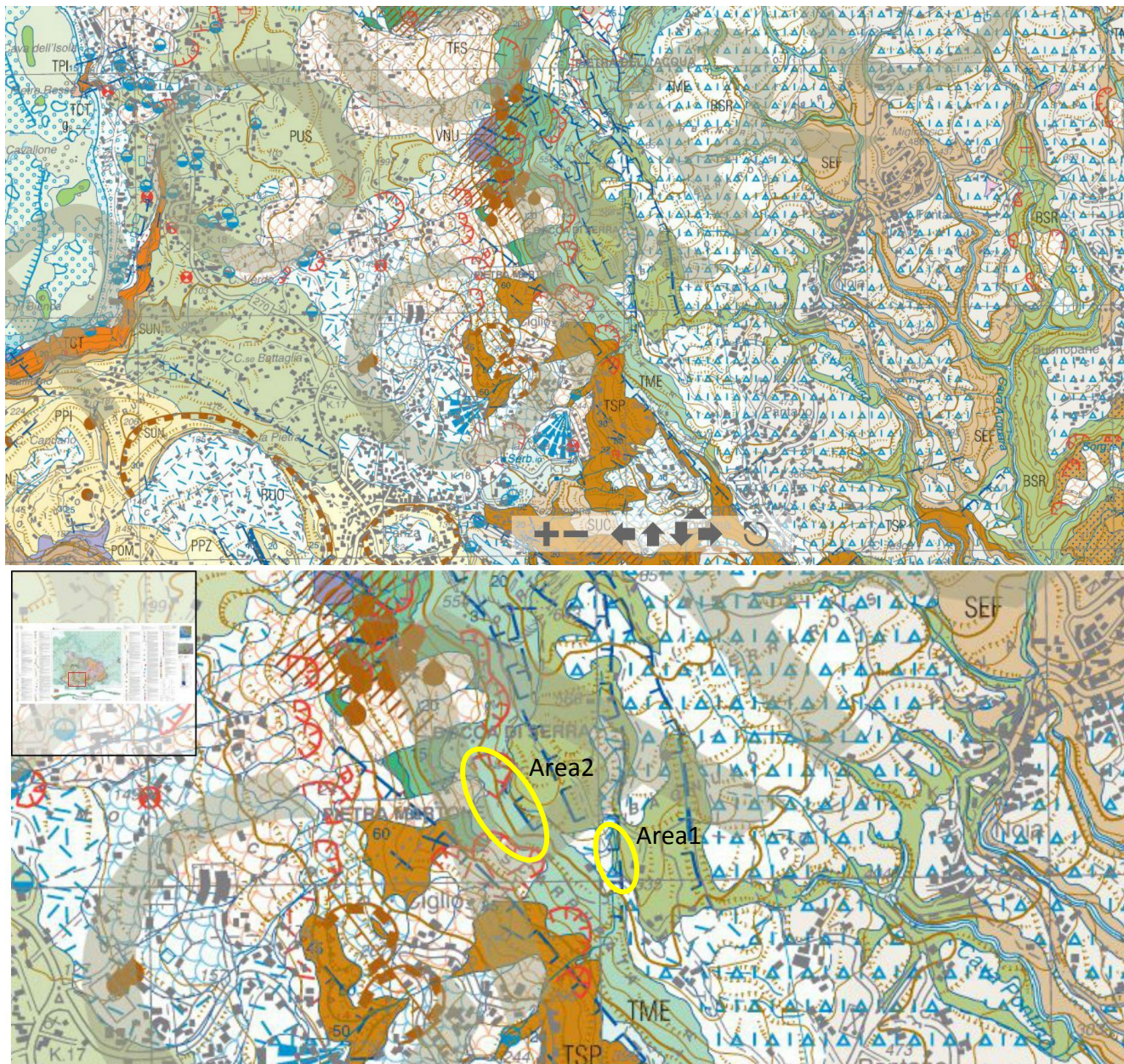


Figura 23: estratto della Carta Geologica D'Italia progetto CARG, foglio 464; in alto vista di insieme del versante occidentale del monte epomeo; in basso dettaglio per le aree di studio cerchiare in giallo.

Per l'area 1, lungo le aree vegetate a bassa pendenza si è potuto osservare un substrato sciolto poco alterato composto da sabbie e ghiaie da addensate a debolmente cementate. Esse sono probabilmente originate localmente dal disfacimento dei retrostanti ammassi tufacei e dall'accumulo dei depositi in coni e falde detritiche ai piedi dei costoni rocciosi.

L'area 2 è invece caratterizzata da pendenze più dolci e da affioramenti tufacei più sporadici, questi risultano circondati da depositi cineritici, di granulometria da fine a medio-grossolana, senza con struttura massiva e tessitura caotica che risultano da sciolti ad moderatamente addensati. Tali depositi, probabilmente in virtù delle più deboli pendenze e della maggiore copertura vegetale, si presentano umificati. La loro origine è probabilmente sia di natura autoctona, legata al disfacimento degli ammassi rocciosi tufacei e all'accumulo dei materiali disgregati in piccoli coni detritici e falde ai piedi degli stessi, sia come rimanenze dei sovrastanti depositi di copertura caotici (debris avalanches) ascritti alla unità di Bocca Serra (BSR, cfr. Carta Geologica D'Italia, progetto CARG, foglio 464 Isola D'Ischia, scala 1:50000).

In presenza di tali rocce, già definite come tenere, in quanto poco o moderatamente coerenti, la stessa composizione e consistenza della roccia intatta, deve essere tenuta in considerazione nella valutazione delle condizioni di stabilità. Infatti tali litotipi possono presentare caratteristiche meccaniche intermedie tra quelle di una roccia competente e di un deposito granulare (terre) che, anche in assenza di zone di debolezza

(discontinuità), in particolari condizioni geomorfologiche, possono risultare insufficienti a garantire la stabilità dell'ammasso. Occorre prestare attenzione e considerare tale aspetto specialmente in presenza di aree ad elevata pendenza o strapiombanti, fronti con elevato sviluppo altimetrico, aree scalzate al piede, cavità etc., lungo le quali non è possibile escludere l'instaurarsi di dissesti anche lungo discontinuità di neo-formazione. E' questo il caso delle masse sovrastanti le aree strapiombanti evidenziate nelle tavole allegate (cfr. elaborati C006-16-C01.0 e C006-16-D01.0) di cui si riporta un estratto in Figura 24

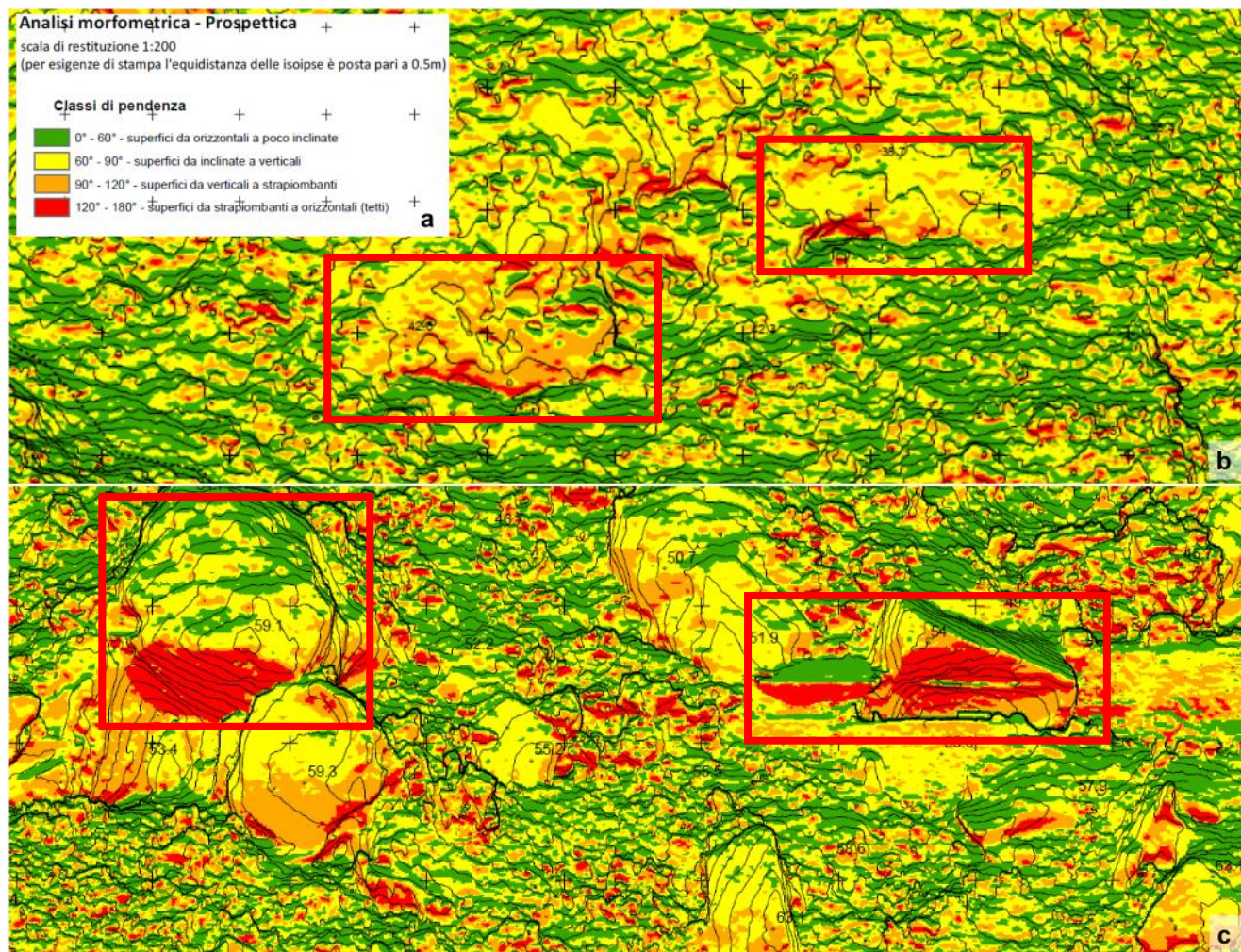


Figura 24: estratti delle carte morfometriche che mostrano settori strapiombanti con grandi masse scalzate, qui evidenziate con rettangoli rossi. a) Legenda; b) estratto per l'area 1 (elaborato C006-16-C01.0); c) estratto per l'area 2 (elaborato C006-16-D01.0)

In tali condizioni la stabilità degli ammassi può essere stimata applicando i metodi di analisi utilizzati per i mezzi continui quali ad esempio le analisi all'equilibrio limite e agli elementi finiti, volte ad accertare, in fase progettuale, lo sviluppo della superficie di scivolamento più critica per la stabilità e a intervenire in modo adeguato. Tali metodi richiedono una attenta caratterizzazione delle proprietà geotecniche dei depositi considerati e, nel caso in esame, dove è opportuno concentrare l'attenzione sulle singole masse, vanno applicati in casi specifici quando, sulla base di accurate scelte progettuali, è necessaria la stabilizzazione delle stesse attraverso interventi di consolidamento puntuali.

### 5.3 Influenza dell'alterazione e dell'azione di meccanismi morfoselettivi

La consistenza e la composizione particolare delle rocce presenti nelle aree d'esame influenza anche la dinamica morfogenetica ad opera degli agenti esogeni, che svolge anch'essa un ruolo rilevante nel condizionare la stabilità degli ammassi. In ammassi costituiti da rocce tenere, quali tufi, arenarie etc, suscettibili di trasformazioni geometriche piuttosto rapide, per effetto di agenti morfogenetici quali l'azione delle acque di dilavamento, l'azione eolica, l'azione marina, l'azione termoclastica, aloclastica, crioclastica, disgregazione chimica (ad es. idrolisi dei feldspati) o una combinazione delle stesse, possono verificarsi fenomeni di morfoselezione la cui evoluzione può determinare un ulteriore fattore destabilizzante di masse anche di cospicue dimensioni. Nel caso in esame, a causa della composizione chimica dei litotipi presenti

(rocce piroclastiche ricche in silicati, spesso anche alterati) appare piuttosto marcato l'effetto dell'alterazione per meccanismi di disaggregazione chimica (ad es. idrolisi di silicati), particolarmente spinta in prossimità del suolo (per effetto della risalita capillare d'acqua). A questa si aggiunge in modo subordinato l'azione aloclastica (crescita di sali nelle fessure) per ri-precipitazione dei sali portati in soluzione.



Figura 25 esempi di grandi masse, apparentemente compatte, prive di discontinuità di svincolo o rottura, che si presentano fortemente scalzate al piede per azione combinata di fenomeni di alterazione della roccia, in prossimità del suolo, e dell'erosione per corrasione eolica.

Tali meccanismi riducono ulteriormente la resistenza della roccia che diventa maggiormente suscettibile all'azione di meccanismi di erosione fisico-chimica. In particolare risulta evidente, in tutta l'area, l'effetto combinato della disaggregazione chimica e dell'azione di corrasione eolica, che determina lo sviluppo di profondi tafoni alla base delle masse rocciose affioranti. Questi comportano lo scalzamento al piede di masse anche di grandi dimensioni che, per la presenza di discontinuità di svincolo o, nel caso di erosione molto spinta, per il formarsi di fratture di neo-formazione, possono raggiungere condizioni di instabilità.

Lungo le aree in esame si riconoscono numerosissimi esempi di grandi masse prive di discontinuità significative, che vengono rese aggettanti per effetto dei fenomeni di scalzamento al piede (Figura 25).

Nell'elaborato C006-16-G01.0 vengono rappresentate le aree molto strapiombanti che rappresentano proprio la porzione superiore delle fasce di scalzamento. Per tali ragioni le aree di estensione maggiore rappresentano strapiombi più sviluppati verso i quali va indirizzata maggiormente l'attenzione in fase di progettazione delle opere di mitigazione

Tale meccanismo si manifesta anche a scala minore dove si formano tafoni molto profondi (Figura 26), al tetto dei quali si generano masse sospese di medie dimensioni, il cui distacco, sebbene difficilmente potrà apportare danni significativi alle strutture, può determinare comunque un pericolo per la pubblica incolumità.

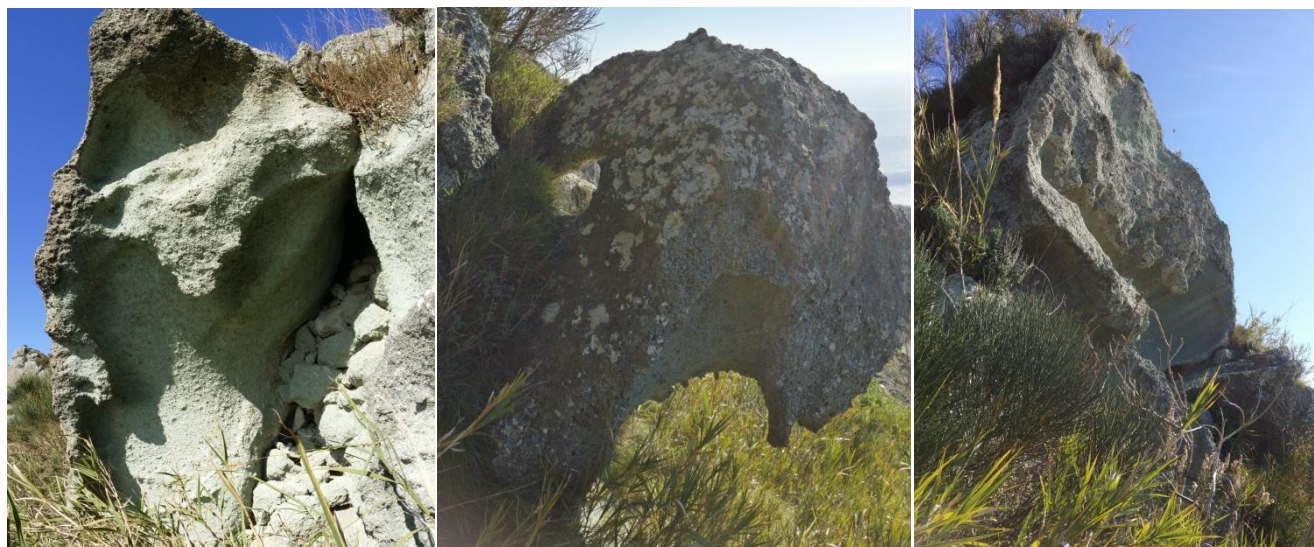


Figura 26: esempi di tafoni molto accentuati che isolano nella parte alta frammenti di dimensioni decimetriche.

## 5.4 Influenza dell'assetto geostrutturale

L'assetto strutturale delle aree in esame esercita comunque un'influenza preponderante nella stabilità globale dell'area. Anche in rocce tenere come quelle affioranti, infatti, le discontinuità costituiscono all'interno dell'ammasso le zone di minore resistenza al taglio e quindi rappresentano le zone di preferenziale concentrazione delle deformazioni. Esse possono agire anche solo come svincoli delle masse in dissesto. Per tali ragioni, insieme alle osservazioni geomorfologiche sono stati eseguiti rilevamenti geostretturali e geomeccanici volti a definire le caratteristiche del quadro fessurativo per ciascun'area e per stabilire il ruolo svolto per la stabilità globale delle aree in esame in funzione delle orientazioni delle scarpate, attraverso analisi di stabilità cinematiche.

### area 1

In particolare, nell'area 1 sono stati riconosciuti 3 set principali (Figura 14), di cui uno con direzione pressoché N-S, con inclinazione media di circa 50°, e due set sub-verticali con direzioni SE-NW e NE-SW, le altre discontinuità rilevate non danno origine a raggruppamenti significativi e, pertanto, sono state classificate come "random".

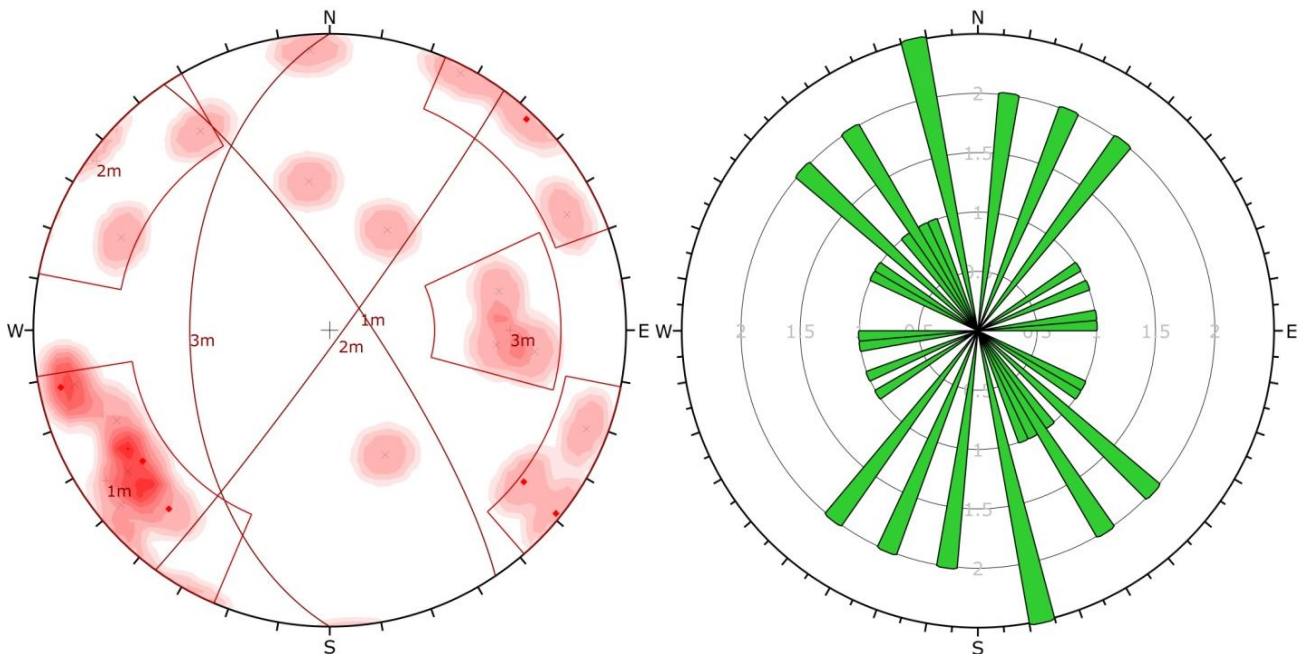


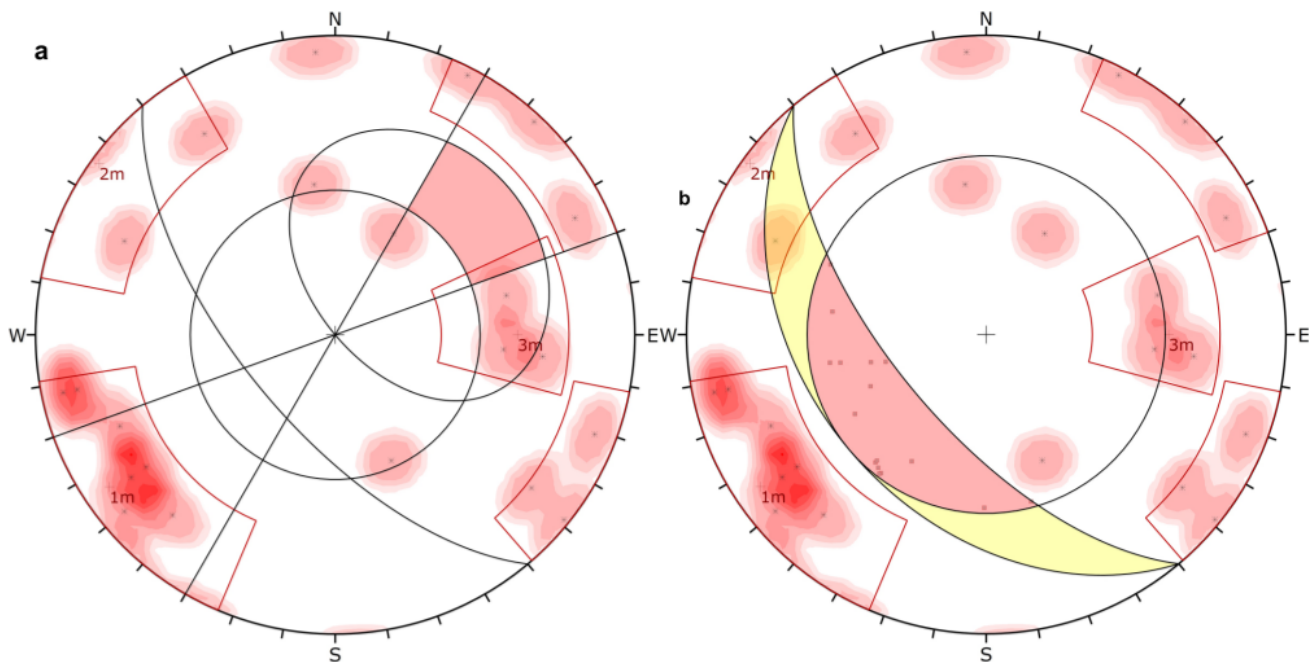
Figura 27: Contour plot (a sinistra) e rose diagram (a destra) dei dati acquisiti lungo l'intero fronte, per l'area 1, con rappresentazione dei principali set individuati.

Tali discontinuità presentano solitamente persistenze significative (superiore a 2m) e solitamente ampie spaziature, pertanto sono in grado di svincolare blocchi anche di grandi dimensioni.

Il fronte ricadente nell'area1 si divide in due zone con orientazioni distinte, pertanto la verifica di stabilità cinematica, per la verifica dei possibili meccanismi di innesco di crolli è stata svolta considerando le due orientazioni principali ovvero 230°N/65° per il settore di destra (osservando il fronte) e 250°N/70° per il settore di sinistra.

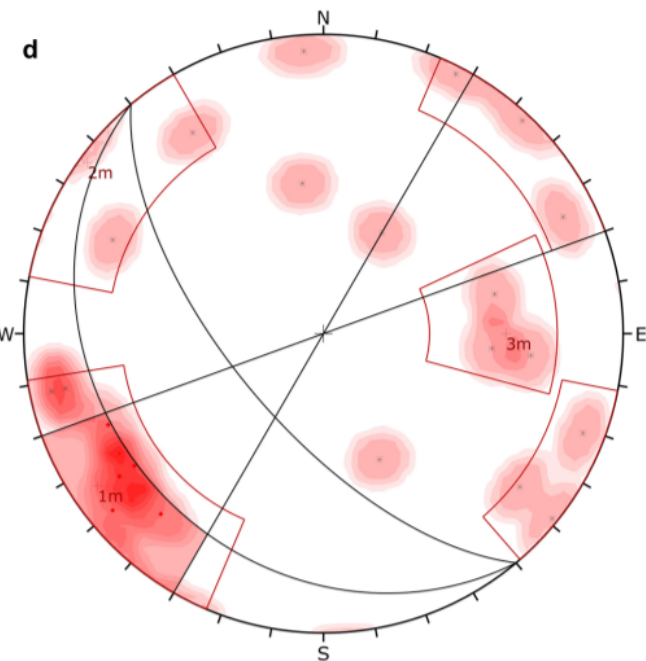
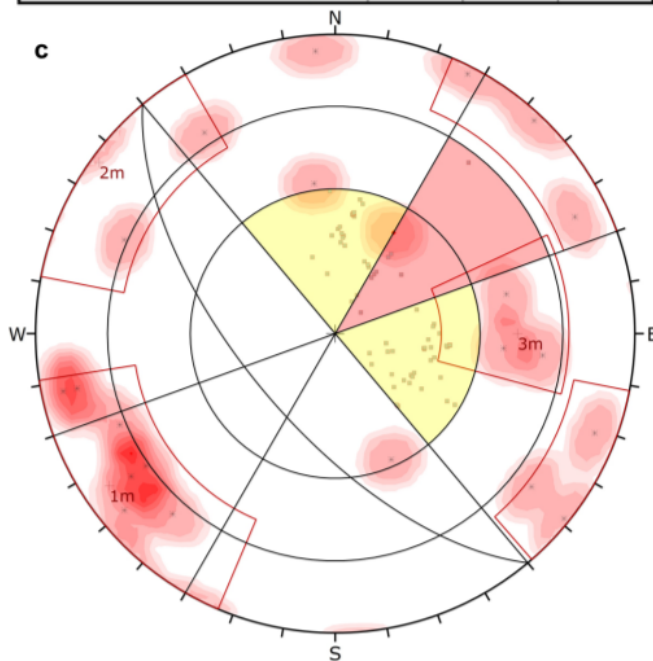
Le verifiche cinematiche svolte per il settore di destra dell'area 1, riportate in Figura 28 confermano le osservazioni di campagna sulle tipologie di distacco possibili, infatti, l'assetto geostretturale dell'ammasso, caratterizzato soprattutto da frequenti discontinuità ad alto angolo, risulta poco favorevole per placche in scivolamento planare (Figura 28a). Anche l'isolamento di cunei risulta poco frequente, verificandosi solo per intersezione di piani dei set 2 con 3 e dei set 3 con 4 (Figura 28b). La presenza di frequenti discontinuità ad alto angolo, talvolta a reggipoggio, con medesima direzione del versante, appartenenti al set 1 rende sicuramente l'area molto suscettibile al ribaltamento sia flessurale (Figura 28d) che diretto (Figura 28a), per l'intersezione tra i piani del set 1 con 2. Fenomenologie favorite dai fenomeni di scalzamento al piede per effetto dei meccanismi di morfoselezione e dalle proprietà geomeccaniche dei litotipi interessati che, sotto i carichi

applicati alla base dalle masse in ribaltamento, rendono possibile anche la formazione di fratture di neoformazione.



<b>Kinematic Analysis</b>	Planar Sliding		
<b>Slope Dip</b>	65		
<b>Slope Dip Direction</b>	230		
<b>Friction Angle</b>	40°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Planar Sliding (All)	0	22	0.00%

<b>Kinematic Analysis</b>	Wedge Sliding		
<b>Slope Dip</b>	65		
<b>Slope Dip Direction</b>	230		
<b>Friction Angle</b>	40°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Wedge Sliding	16	231	6.93%



<b>Kinematic Analysis</b>	Direct Toppling		
<b>Slope Dip</b>	65		
<b>Slope Dip Direction</b>	230		
<b>Friction Angle</b>	40°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Direct Toppling (Intersection)	8	231	3.46%
Oblique Toppling (Intersection)	58	231	25.11%
Base Plane (All)	1	22	4.55%

<b>Kinematic Analysis</b>	Flexural Toppling		
<b>Slope Dip</b>	65		
<b>Slope Dip Direction</b>	230		
<b>Friction Angle</b>	40°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Flexural Toppling (All)	5	22	22.73%
Flexural Toppling (Set 1)	5	10	50.00%

Figura 28: Diagrammi con verifiche cinematiche eseguite per il settore destro dell'area 1.

In tale area è opportuno segnalare la presenza, tra gli altri blocchi di un'enorme massa di circa 13m<sup>3</sup> (Figura 29), svincolata proprio da una discontinuità appartenente al set 1, completamente scalzata al piede e in parte eroso anche lungo la frattura di svincolo, in condizioni di equilibrio precario. Tale massa si presenta compatta e può dar luogo ad un unico crollo, coinvolgendo le strutture sottostanti.

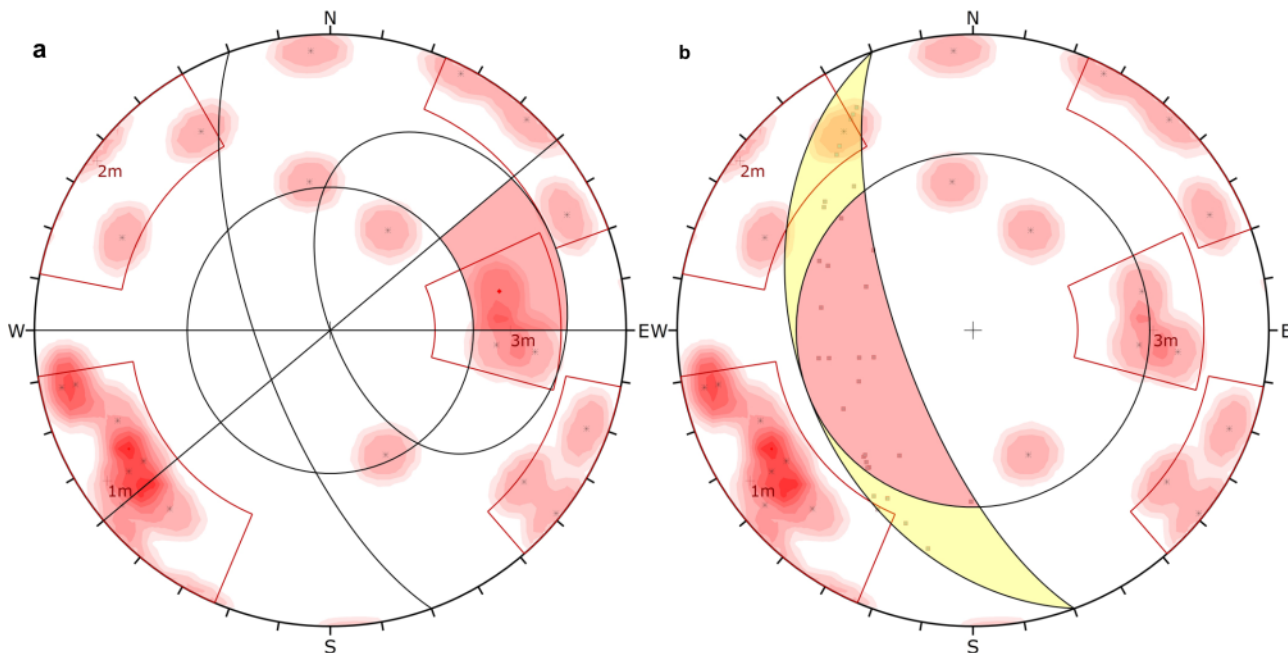


Figura 29: area1 - settore destro) massa di grandi dimensioni in ribaltamento, lungo discontinuità del set1 e scalzata al piede e alle spalle per effetto dell'erosione eolica al piede.



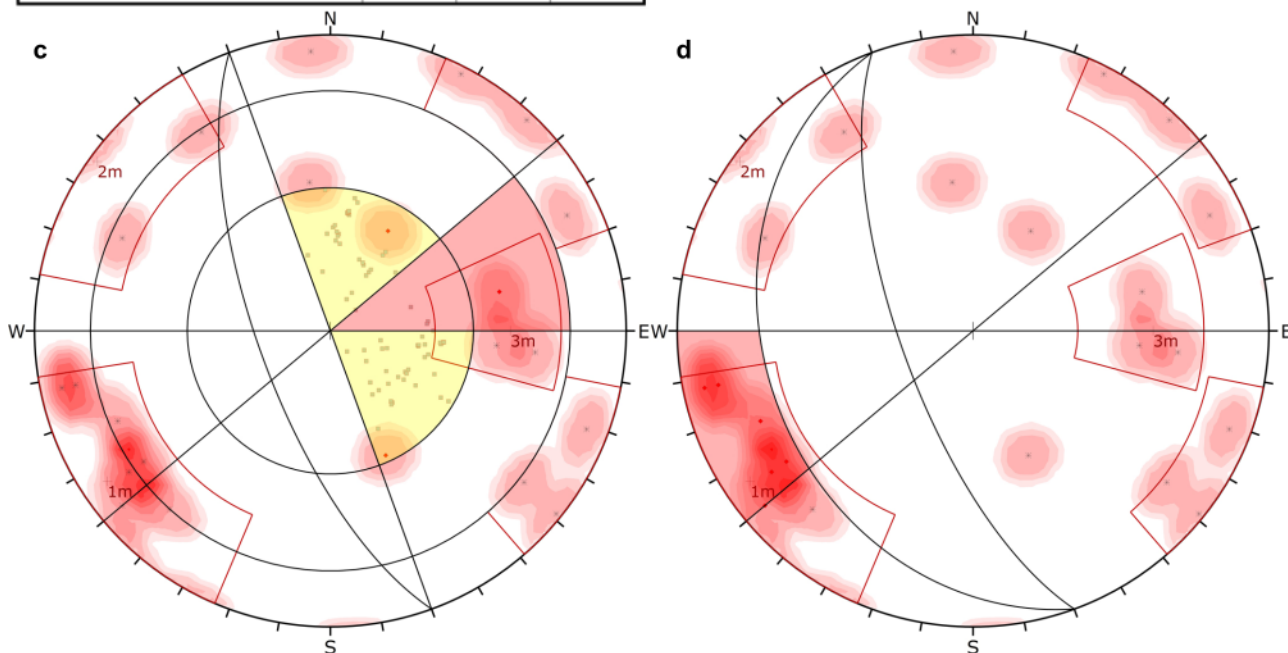
Figura 30: Area in equilibrio precario dove si individuano un masso in ribaltamento e un cuneo di dimensioni pluri-decimetriche in scivolamento, scalzati per effetto di erosione eolica spinta. Si evidenzia, inoltre, nella parte destra della foto una zona particolarmente alterata e fratturata, probabilmente ascrivibile ad una fascia cataclastica ai piedi del versante





<b>Kinematic Analysis</b>	Planar Sliding		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	250		
<b>Friction Angle</b>	40°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Planar Sliding (All)	1	22	4.55%
Planar Sliding (Set 3)	1	3	33.33%

<b>Kinematic Analysis</b>	Wedge Sliding		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	250		
<b>Friction Angle</b>	40°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Wedge Sliding	33	231	14.29%



<b>Kinematic Analysis</b>	Direct Toppling		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	250		
<b>Friction Angle</b>	40°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Direct Toppling (Intersection)	5	231	2.16%
Oblique Toppling (Intersection)	66	231	28.57%
Base Plane (All)	3	22	13.64%
Base Plane (Set 3)	1	3	33.33%

<b>Kinematic Analysis</b>	Flexural Toppling		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	250		
<b>Friction Angle</b>	40°		
<b>Lateral Limits</b>	20°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Flexural Toppling (All)	6	22	27.27%
Flexural Toppling (Set 1)	6	10	60.00%

Figura 31: Diagrammi con verifiche cinematiche eseguite per il settore destro dell'area1.

stage srl

sede legale  
viale Gandhi, 72  
81025 - Marcanise CE

Sede operativa  
Via Forno Vecchio, 38  
80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16  
Fax: +39 081 1972 10 58  
email: info@stagesrl.com  
web: www.stagesrl.com

Il settore sinistro del fronte, presenta maggiori problematiche connesse alla stabilità delle masse. Rispetto all'area precedente, infatti, in quest'area è possibile il manifestarsi di scivolamenti planari lungo i piani appartenenti al set 3 (Figura 31a e Figura 30). Anche il distacco di cunei, rispetto al caso precedente, risulta più accentuato a causa delle intersezione dei set 3 con 4 e di alcuni piani dei set 1 con 2 (Figura 31b). Altre intersezioni (tra i set 2 e 3) possono determinare lo svincolo di masse che scivoleranno prevalentemente lungo i piani del set 3. Come nell'area precedente, anche i meccanismi di ribaltamento risultano abbastanza frequenti per effetto dell'orientazione sfavorevole dei piani del set 1 che hanno direzione sub-parallela al versante (Figura 31d). Tali piani, laddove intersechino i piani del set 3 e del set 2 (Figura 31c) possono dar luogo a fenomeni di ribaltamento diretto (*direct toppling*); in tal caso lo svincolo sub-orizzontale può essere costituito dai piani meno inclinati appartenenti al set 3 e da alcuni piani "random" riconosciuti nell'area (Figura 31c). Il distacco dei blocchi in ribaltamento è, anche qui, aggravato da fenomeni di scalzamento al piede (Figura 30), per meccanismi morfoselettivi, e per la genesi discontinuità di neoformazione.

In tale area, l'assetto geostrutturale, oltre a determinare, lo svincolo di singoli blocchi per l'orientazione sfavorevole di alcuni piani e delle loro intersezioni, influenza anche la morfologia e le caratteristiche dell'ammasso. Infatti, è da evidenziare la presenza di una zona di faglia che nelle porzioni più occidentali dell'ammasso, ai piedi dei fronti, caratterizzata da fasce quasi cataclastiche (FIGURA) interrotte da taluni piani di faglia ad alta persistenza (FIGURA), spesso sarciti da materiali cementati di probabile origine vulcanico-idrotermale. In questa zona i tufi, per effetto della intensa fratturazione e dell'alterazione agevolata dalla stessa, si presentano particolarmente alterati e disgregati e danno origine ad aree alveolizzate e a fasce di morfoselezione più spinta (FIGURA). In tali settori si rilevano quindi masse aggettanti poco compatte e spesso anche svincolate dalle discontinuità presenti. Esse possono dare origine a frane di piccole dimensioni sotto forma di piccoli crolli e rock-avalanches, che vanno ad alimentare i coni e le falde detritiche al piede del versante; tuttavia, considerate le scarse proprietà geomeccaniche del tufo, in queste fasce, non è possibile escludere fenomeni gravitativi più cospicui specialmente nelle aree dove è più spinto l'effetto dello scalzamento al piede.



Figura 32: fascia disturbata posta ai piedi del versante probabilmente ascrivibile alla presenza di una zona di faglia. In tale settore il materiale si presenta più alterato e disgregato e luogo a fenomeni di alveolizzazione per erosione eolica e al distacco di masse internamente disgregate, che possono dar luogo a fenomeni tipo rock avalanches.

## **Area 2**

Nell'area 2, più vasta della precedente, è stato rilevato un maggior numero di famiglie di discontinuità (Figura 33). In particolare si rilevano due famiglie di discontinuità con inclinazione di circa 40° antitetiche e aventi direzione NE-SW, altri due sistemi invece sono caratterizzate da discontinuità pressoché verticali e con

direzioni NNW-SSE e ENE-WSW, altri due set hanno invece direzione circa NO-SE con immersione verso SW di circa 70°, e E-W con immersione verso N di circa 45°.

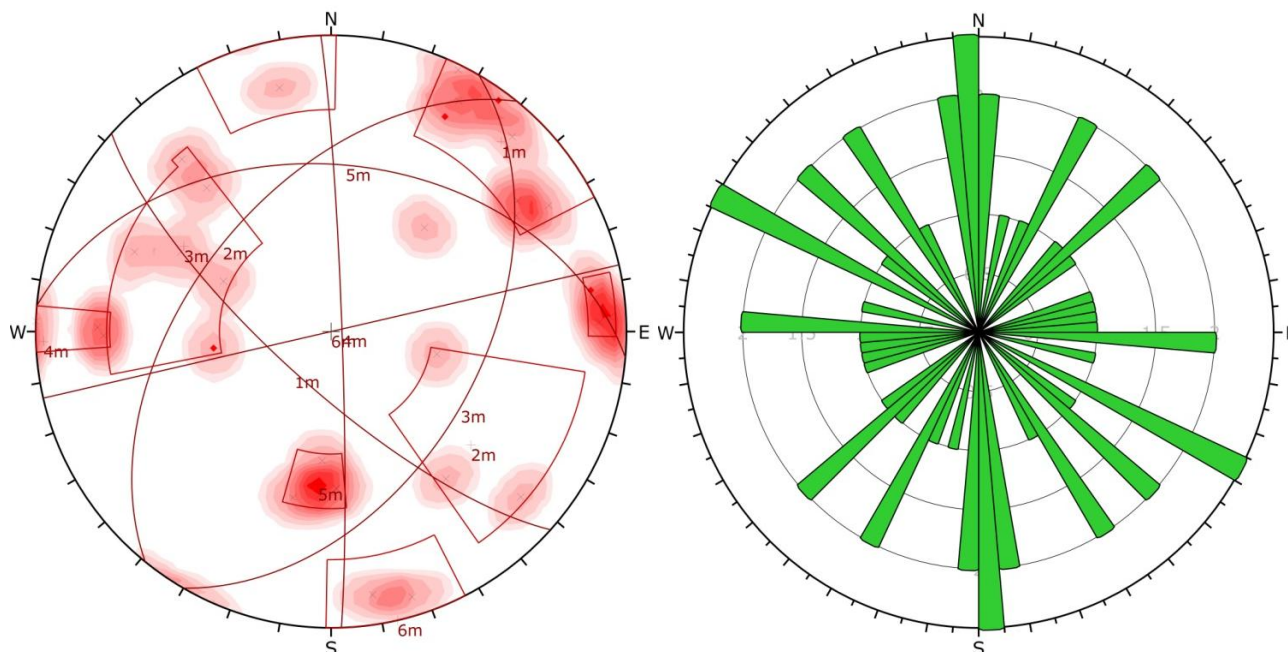


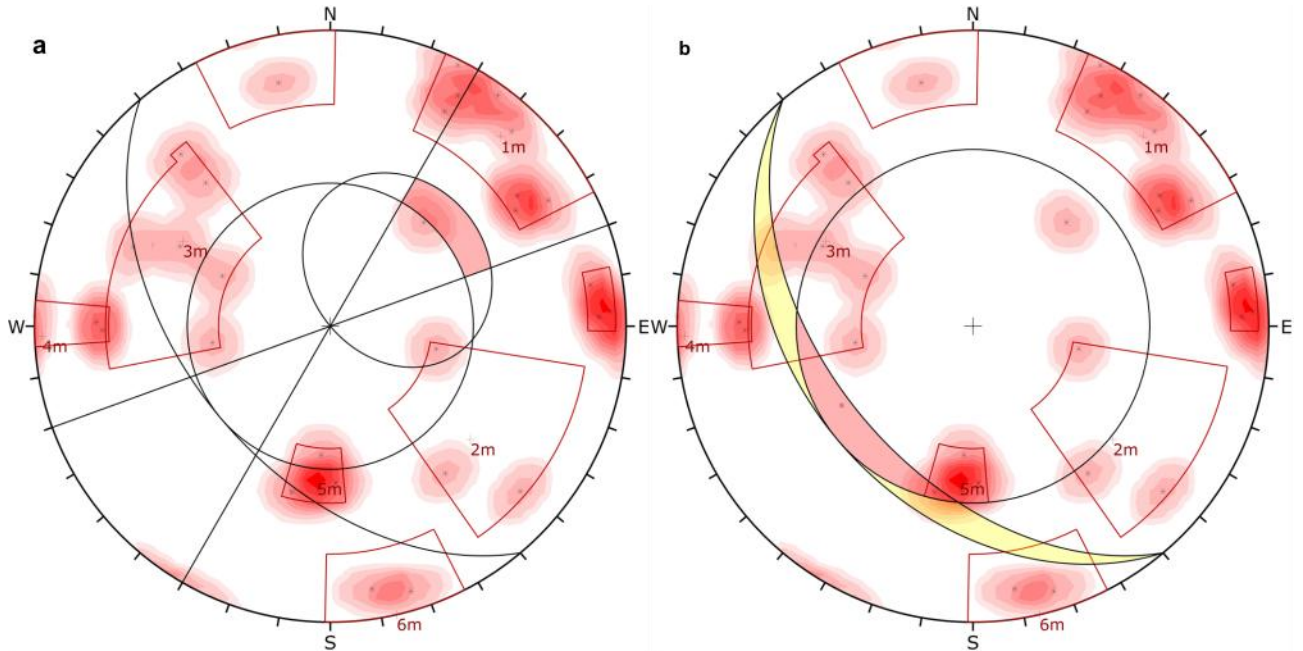
Figura 33: Contour plot (a sinistra) e rose diagram (a destra) dei dati acquisiti lungo l'intero fronte, per l'area 2, con rappresentazione dei principali set individuati

Le discontinuità rilevate nell'area 2 presentano solitamente spaziature piuttosto elevate e, anche in virtù della minore inclinazione del pendio, agiscono essenzialmente come svincolo e, solo localmente, esse agiscono come cause preponderanti per l'innescio di fenomeni di dissesto come superfici di rottura. Infatti dalle verifiche cinematiche svolte si rileva che a livello globale i fenomeni di scivolamento risultano molto rari (Figura 35a) e si limitano essenzialmente a scivolamenti di cunei per rare intersezioni dei sistemi 1 con 6 (Figura 35b). Anche i meccanismi di ribaltamento risultano poco probabili e limitati essenzialmente a rare intersezioni tra i piani appartenenti ai set 4 con set 6 e marginalmente tra set 3 con 6 e tra set 2 con set 4 (Figura 35c e d).

Anche in presenza di discontinuità di svincolo, in quest'area risultano molto più significativi, dal punto di vista della stabilità, i fenomeni di morfoselezione, che possono determinare lo sbilanciamento delle masse che possono mobilizzarsi o per disarticolazione lungo discontinuità preesistenti, o per creazione di fratture di neoformazione. Tale fenomenologia può riattivare il movimento anche di blocchi già crollati e in appoggio lungo il versante. Tra i principali casi è da segnalare soprattutto la grande massa in condizioni critiche presente nel settore d'alto del versante che si presenta scalzata per molti metri (Figura 34). Essa grava sulle sottostanti masse e determina lo schiacciamento delle stesse con la nucleazione di discontinuità di compressione ben visibili alla base (Figura 34). A loro volta i blocchi sottostanti risultano parzialmente scalzati per effetto di corrosione eolica. il cedimento delle sottostanti masse potrebbe comportare il completo isolamento e quindi la mobilitazione dell'intera massa che può mantenersi piuttosto integra durante la sua mobilitazione costituendo un importante pericolo per l'intero versante sottostante.

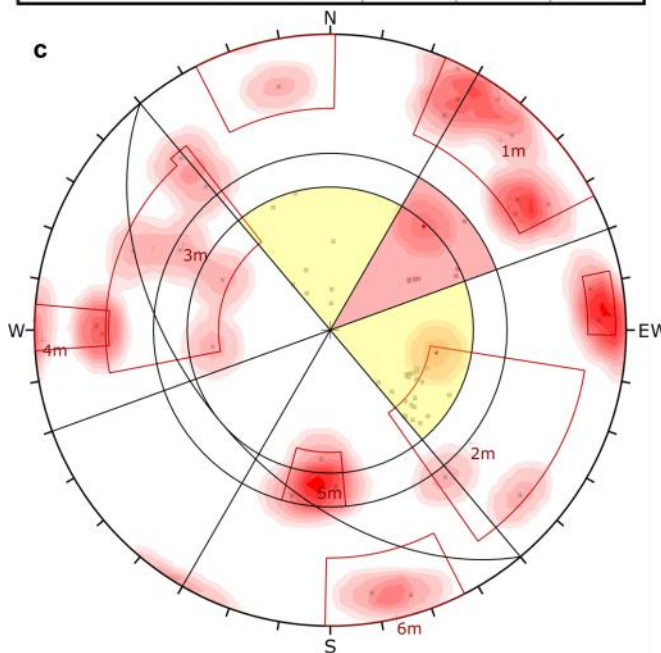


Figura 34: massa di enormi dimensioni, completamente scalzata al piede, con evidenza di fature da carico (compressione) alla base, in appoggio sui sottostanti massi, parzialmente scalzati al piede.

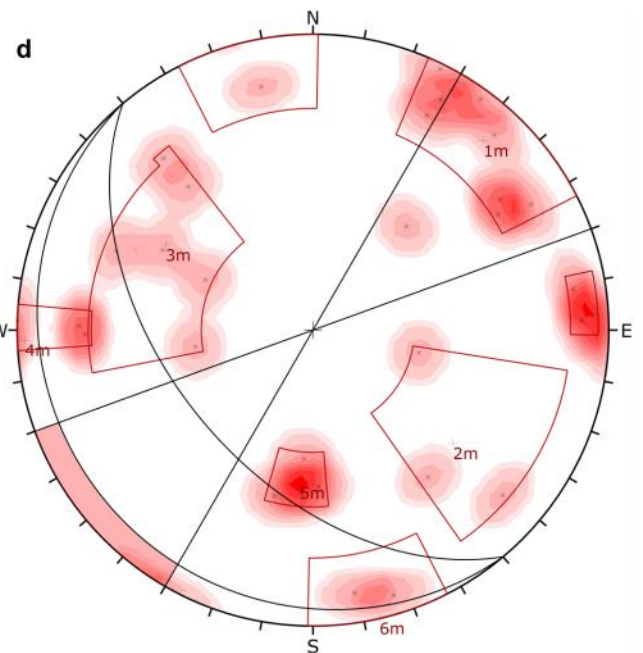


<b>Kinematic Analysis</b>	Planar Sliding
<b>Slope Dip</b>	50
<b>Slope Dip Direction</b>	230
<b>Friction Angle</b>	40°
<b>Lateral Limits</b>	20°
	<b>Critical</b> <b>Total</b> <b>%</b>
Planar Sliding (All)	0 31 0.00%

<b>Kinematic Analysis</b>	Wedge Sliding
<b>Slope Dip</b>	50
<b>Slope Dip Direction</b>	230
<b>Friction Angle</b>	40°
	<b>Critical</b> <b>Total</b> <b>%</b>
Wedge Sliding	1 465 0.22%



<b>Kinematic Analysis</b>	Direct Toppling
<b>Slope Dip</b>	50
<b>Slope Dip Direction</b>	230
<b>Friction Angle</b>	40°
<b>Lateral Limits</b>	20°
	<b>Critical</b> <b>Total</b> <b>%</b>
Direct Toppling (Intersection)	8 465 1.72%
Oblique Toppling (Intersection)	32 465 6.88%
Base Plane (All)	2 31 6.45%
Base Plane (Set 2)	1 3 33.33%



<b>Kinematic Analysis</b>	Flexural Toppling
<b>Slope Dip</b>	50
<b>Slope Dip Direction</b>	230
<b>Friction Angle</b>	40°
<b>Lateral Limits</b>	20°
	<b>Critical</b> <b>Total</b> <b>%</b>
Flexural Toppling (All)	0 31 0.00%

Figura 35: Diagrammi con verifiche cinematiche eseguite per l'area2

AREA 1								
ID	Tipo	Giacitura	Lunghezza (m)	Terminazioni	Scabrezza / JRC	Alterazione delle pareti / Condizioni Idrauliche	Apertura Min - Max (mm)	Riempimento / Stato del riempimento
1	Joint	N257/49	2 m	Roccia - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 10	Decolorate / Dilavata Localmente	5 - 10 mm	SABBIA / Sciolto
2	Joint	N336/38	3.5 m	Roccia - Nascosto	Piana Rugosa / JRC = 10	Decolorate / Dilavata Completamente	2 - 5 mm	SABBIA / Sciolto
3	Joint	N55/72	2.5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 10	Decolorate / Dilavata Localmente	5 - 20 mm	Assente / Nessuno
4	Joint	N50/81	1.5 m	Discontinuità - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 14	Decolorate / Bagnata	0.1 - 0.5 mm	Assente / Nessuno
5	Joint	N210/32	2 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 18	Alterate / Dilavata Completamente	2 - 10 mm	SABBIA / Sciolto
6	FALSO	N223/87	4 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 10	Alterate / Dilavata Completamente	5 - 30 mm	SABBIA / Sciolto
7	Joint	N147/69	2.5 m	Nascosto - Nascosto	Piana Liscia / JRC = 8	Alterate / Dilavata Completamente	5 - 10 mm	SABBIA CON GHIAIA / Sciolto
8	Joint	N207/87	1.8 m	Discontinuità - Nascosto	Segmentata Rugosa / JRC = 18	Alterate / Dilavata Completamente	5 - 20 mm	SABBIA CON GHIAIA / Sciolto
9	Faglia	N55/66	3.5 m	Nascosto - Nascosto	Piana Liscia / JRC = 8	Fresche / Dilavata Completamente	2 - 10 mm	Assente / Nessuno
10	Joint	N114/66	2 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 14	Alterate / Dilavata Completamente	10 - 30 mm	SABBIA / Sciolto
11	Faglia	N42/70	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 14	Decolorate / Dilavata Completamente	0.5 - 5 mm	SABBIA / Sciolto
12	Joint	N78/77	1.5 m	Nascosto - Discontinuità	Ondulata Rugosa / JRC = 12	Alterate / Dilavata Completamente	10 - 20 mm	SABBIA / Sciolto
13	Joint	N276/59	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 10	Decolorate / Dilavata Completamente	30 - 50 mm	Assente / Nessuno
14	Joint	N67/67	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 12	Alterate / Dilavata Completamente	10 - 30 mm	SABBIA / Sciolto
15	Faglia	N309/88	5 m	Nascosto - Nascosto	Piana Liscia / JRC = 14	Decolorate / Dilavata Completamente	10 - 150 mm	SABBIA / Cementato
16	Joint	N291/82	3 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 12	Decolorate / Dilavata Localmente	0.5 - 1 mm	SABBIA / Cementato
17	Faglia	N308/72	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 10	Alterate / Dilavata Localmente	10 - 30 mm	SABBIA / Sciolto
18	Joint	N172/42	2.5 m	Nascosto - Discontinuità	Ondulata Rugosa / JRC = 14	Decolorate / Dilavata Localmente	5 - 10 mm	Assente / Nessuno
19	Joint	N275/47	1.5 m	Discontinuità - Discontinuità	Ondulata Rugosa / JRC = 14	Decolorate / Dilavata Localmente	0.5 - 1 mm	SABBIA / Cementato
20	Joint	N176/84	1.5 m	Nascosto - Roccia	Piana Rugosa / JRC = 14	Decolorate / Dilavata Localmente	3 - 5 mm	SABBIA / Sciolto
21	Joint	N244/78	3.5 m	Roccia - Discontinuità	Ondulata Rugosa / JRC = 16	Alterate / Dilavata Localmente	0.5 - 3 mm	SABBIA / Cementato
22	Faglia	N78/82	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 10	Alterate / Dilavata Localmente	150 - 150 mm	/ Cementato

AREA 2								
ID	Tipo	Giacitura	Lunghezza (m)	Terminazioni	Scabrezza / JRC	Alterazione delle pareti / Condizioni Idrauliche	Apertura Min - Max (mm)	Riempimento / Stato del riempimento
1	Joint	N89/66	1.5 m	Nascosto - Nascosto	Piana Rugosa / JRC = 12	Alterate / Dilavata Completamente	10 - 30 mm	SABBIA / Sciolto
2	Joint	N235/66	1.5 m	Roccia - Nascosto	Segmentata Rugosa / JRC = 20	Alterate / Dilavata Completamente	5 - 30 mm	Assente / Nessuno
3	Joint	N13/48	1.5 m	Nascosto - Nascosto	Piana Liscia / JRC = 12	Alterate / Dilavata Completamente	10 - 20 mm	SABBIA / Sciolto
4	Joint	N322/53	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 14	Decolorate / Dilavata Localmente	5 - 10 mm	SABBIA / Sciolto
5	Joint	N112/61	1.5 m	Discontinuità - Roccia	Piana Rugosa / JRC = 12	Decolorate / Dilavata Localmente	10 - 30 mm	Assente / Nessuno
6	Joint	N223/79	1 m	Discontinuità - Roccia	Ondulata Rugosa / JRC = 14	Decolorate / Dilavata Localmente	0.5 - 5 mm	Assente / Nessuno
7	FALSO	N261/78	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 12	Decolorate / Dilavata Localmente	- mm	Assente / Nessuno
8	FALSO	N216/86	4 m	Discontinuità - Discontinuità	Ondulata Rugosa / JRC = 16	Decolorate / Dilavata Completamente	- mm	Assente / Nessuno
9	Joint	N268/80	3.5 m	Discontinuità - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 12	Decolorate / Dilavata Localmente	0.5 - 2 mm	Assente / Nessuno
10	Joint	N118/48	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 16	Decolorate / Dilavata Completamente	5 - 10 mm	SABBIA / Cementato
11	Joint	N358/44	3.5 m	Discontinuità - Nascosto	Segmentata Rugosa / JRC = 16	Alterate / Dilavata Completamente	1 - 2 mm	SABBIA / Sciolto
12	Joint	N351/79	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 12	Alterate / Dilavata Localmente	100 - 500 mm	Assente / Nessuno
13	Faglia	N208/71	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 10	Alterate / Dilavata Localmente	100 - 500 mm	Assente / Nessuno
14	Faglia	N82/33	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Liscia / JRC = 8	Alterate / Asciutta	20 - 50 mm	SABBIA / Cementato
15	Joint	N168/73	3.5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 14	Decolorate / Dilavata Localmente	30 - 100 mm	SABBIA / Sciolto
16	Joint	N92/90	1.5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 12	Decolorate / Dilavata Completamente	10 - 30 mm	SABBIA / Sciolto
17	Joint	N91/68	5 m	Nascosto - Nascosto	Piana Liscia / JRC = 10	Decolorate / Dilavata Localmente	10 - 30 mm	Assente / Nessuno
18	Joint	N139/66	5 m	Nascosto - Nascosto	Piana Liscia / JRC = 8	Decolorate / Dilavata Localmente	0.5 - 2 mm	SABBIA / Sciolto
19	Joint	N267/84	2.5 m	Roccia - Discontinuità	Ondulata Rugosa / JRC = 8	Decolorate / Dilavata Localmente	ESP - ESP mm	Assente / Nessuno
20	Joint	N115/33	0.8 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 16	Decolorate / Asciutta	ESP - ESP mm	Assente / Nessuno
21	Joint	N343/83	3 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 20	Decolorate / Asciutta	ESP - ESP mm	/ Sciolto
22	Joint	N311/74	2.5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 16	Fresche / Asciutta	0 - 40 mm	SABBIA / Sciolto
23	Joint	N222/39	1.2 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 20	Fresche / Asciutta	100 - 150 mm	SABBIA / Sciolto
24	Joint	N240/74	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 20	Fresche / Asciutta	ESP - ESP mm	Assente / Nessuno
25	Joint	N282/30	m	Roccia - Nascosto	Piana Rugosa / JRC = 14	Fresche / Asciutta	2 - 10 mm	SABBIA / Sciolto
26	Joint	N139/54	2 m	Roccia - Nascosto	Piana Rugosa / JRC = 16	Fresche / Asciutta	2 - 5 mm	SABBIA / Sciolto
27	Joint	N4/46	m	Nascosto - Nascosto	Piana Rugosa / JRC = 14	Fresche / Asciutta	2 - 5 mm	/ Sciolto
28	Joint	N206/88	0.8 m	Nascosto - Nascosto	Piana Rugosa / JRC = 14	Fresche / Asciutta	ESP - ESP mm	Assente / Nessuno
29	Joint	N238/63	5 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 16	Fresche / Asciutta	ESP - ESP mm	SABBIA / Sciolto
30	Joint	N4/36	5 m	Nascosto - Nascosto	Segmentata Rugosa / JRC = 16	Decolorate / Asciutta	ESP - ESP mm	Assente / Nessuno
31	Joint	N209/78	3 m	Nascosto - Nascosto	Ondulata Rugosa / JRC = 18	Fresche / Asciutta	ESP - ESP mm	Assente / Nessuno

stage srl

sede legale

viale Gandhi, 72

81025 - Marcanise CE

Sede operativa

Via Forno Vecchio, 38

80034 - Marigliano NA

Tel.: +39 081 1964 76 16

Fax: +39 081 1972 10 58

email: info@stagesrl.com

web: www.stagesrl.com