



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

SCUOLA DI SCIENZE DI BASE E APPLICATE  
Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Geologiche  
*Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare*

CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, ASPETTI GEOMECCANICI  
E PROBLEMATICHE DI STABILITÀ NELL'AREA DELLA  
“GROTTA DELLE INCISIONI” DELL'ADDAURA (PALERMO)

TESI DI LAUREA DI  
**Marco Pirrone**

RELATORI  
**Prof. Fabio Cafiso**  
**Prof. Pietro Di Stefano**

Lo studio ha avuto come obiettivo l'analisi del versante carbonatico di Monte Pellegrino (Palermo), alla cui base si trova la “Grotta delle Incisioni”, finalizzato a:

- Definire i caratteri sedimentologici e stratigrafici della successione che ospita le grotte, tramite un rilievo geologico e stratigrafico che ha permesso di realizzare un log dettagliato della distribuzione verticale delle principali facies.
- Definire l'assetto strutturale dell'area, tramite l'esecuzione di rilievi geostrutturali e la successiva elaborazione dei dati che ha permesso di determinare i principali sets di discontinuità ed i cinematismi meccanicamente possibili dei blocchi.
- Formulare, alla luce dei dati ottenuti, le ipotesi sugli opportuni interventi da porre in opera per la mitigazione del rischio da caduta massi.

Le grotte dell'Addaura ed, in particolare, la “Grotta delle Incisioni” rappresentano una testimonianza unica e di primaria importanza di graffiti parietali risalenti al paleolitico. Negli ultimi venti anni ne è stato vietato l'accesso a causa dell'elevato rischio da caduta massi, attualmente censito al livello R4 (P.A.I. - 2005).

L'area studiata ricade all'interno della Riserva Naturale Orientata Monte Pellegrino, gestita dai Rangers d'Italia (Fig. 1). Si riscontra inoltre che alla data attuale, l'amministrazione comunale ha avviato interventi di mitigazione del rischio da caduta massi dai versanti di Monte Pellegrino. Tuttavia, tra le aree messe in sicurezza, non rientra ancora quella oggetto dello studio di tesi.

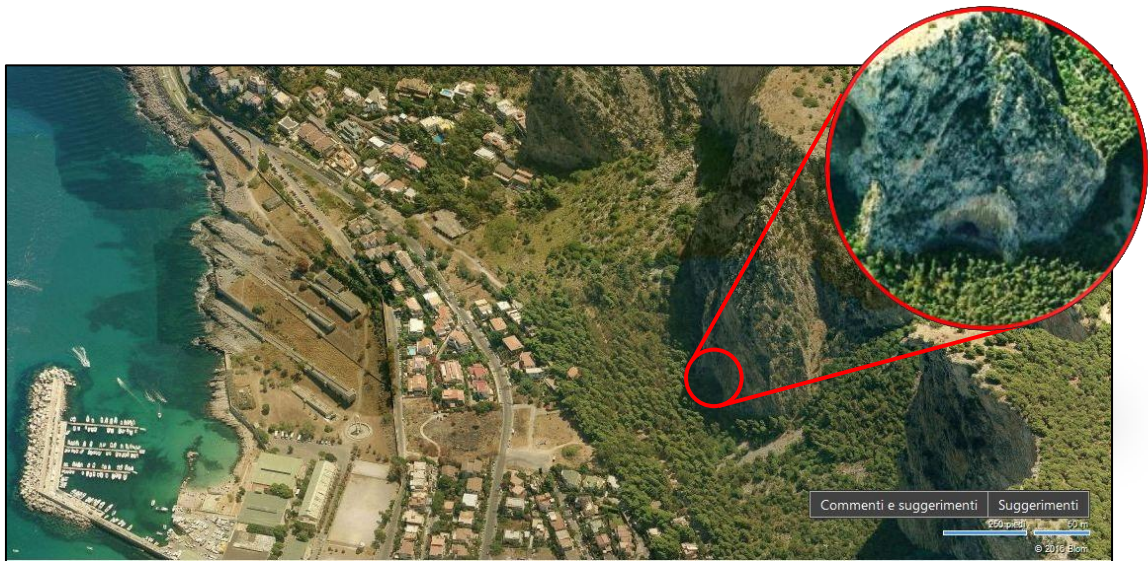


Fig. 1 - Immagine satellitare della parete nord di Monte Pellegrino da Microsoft Bing, nel particolare il tratto di parete rocciosa in studio alla base della quale insiste la “Grotta delle Incisioni” .

L’area in studio ricade nel settore costiero della Sicilia settentrionale, in particolare, dei Monti di Palermo, definiti come un frammento di catena appenninica risultante dalla sovrapposizione tettonica di corpi geologici carbonatici e terrigeno - carbonatici di età mesozoica - terziaria, derivanti dai domini Panormide, Imerese e Trapanese, messi in posto dopo il Miocene inferiore.

Il promontorio di Monte Pellegrino è caratterizzato da versanti ripidi e a forte controllo morfostrutturale, alti sino a centinaia di metri, associati a spianate sommitali e terrazzi di abrasione marina. Il rilievo si sviluppa per circa 6 km in direzione NNW - SSE ed è costituito da terreni carbonatici che derivano dalla deformazione di una porzione della Piattaforma Panormide.

Nel tempo ed è stato oggetto di diversi studi stratigrafici e paleontologici, recentemente è stato cartografato nell’ambito del progetto CARG e compendiato nel Foglio 595 “Palermo” (Fig. 2).

La successione risulta caratterizzata da depositi di piana tidale, laguna di retroscogliera e scogliera, le sezioni colonnari riportano le Formazioni classificate nel CARG (Fig. 3).

Lungo la porzione di versante in esame affiorano i *Calcari di Capo Gallo (AFU)*, costituiti da calcareniti bioclastiche a requienidi, calcilutiti con gasteropodi del genere *Nerinea* sp., calcari stromatolitici e calcari oolitici. Il limite inferiore dell’unità consta in una superficie discordante sui sottostanti calcari della Fm. Piano Battaglia. Le litofacies presenti indicano un ambiente deposizionale di laguna di retroscogliera a bassa energia.

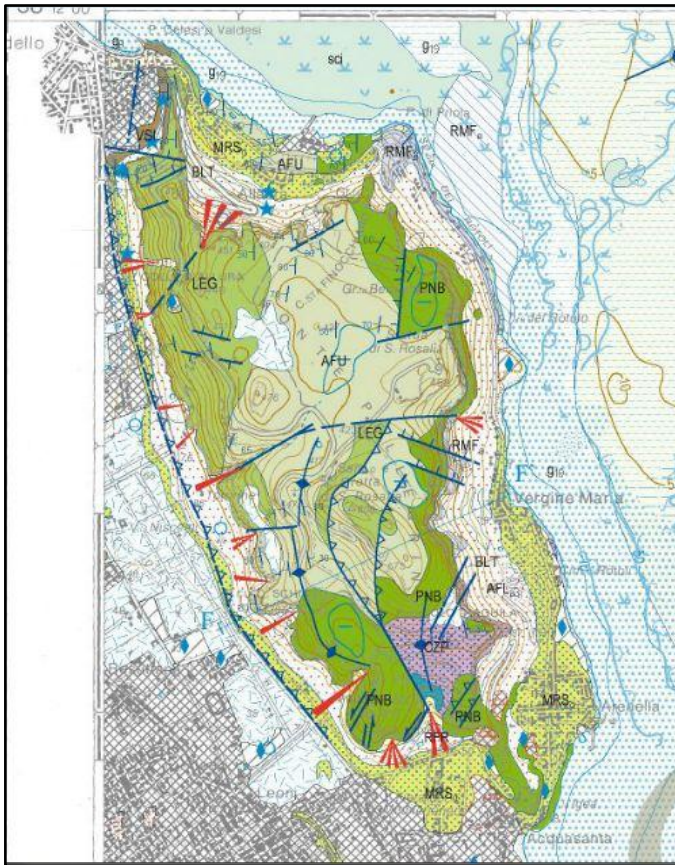


Fig. 2 - Stralcio di carta geologica del Foglio CARG 595 "Palermo".

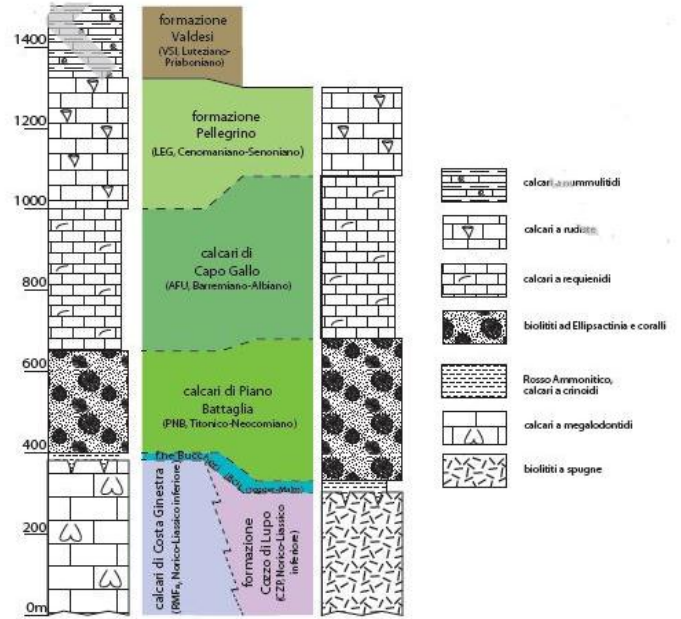


Fig. 3 - Sezioni colonnari con rappresentazione schematica delle litologie della successione (da Foglio CARG 595 "Palermo").

La parete rocciosa in studio presenta orientazione NNE-SSW e si eleva per un'altezza di circa 200 metri dal livello del mare. Dagli studi effettuati sulle cartografie già esistenti e dai rilievi effettuati in campagna si nota che la stratificazione, evidenziata in giallo, presenta immersione NW con inclinazioni che possono raggiungere anche gli 80° (Fig. 4).



Fig. 4 - Parete rocciosa settentrionale di Monte Pellegrino alla base della quale si trova la Grotta delle Incisioni.

La caratterizzazione geologica della successione è stata eseguita tramite un rilievo geologico e stratigrafico di dettaglio che ha portato alla realizzazione di un log della distribuzione verticale delle principali facies che la caratterizzano; inoltre lo studio delle sezioni sottili realizzate ha consentito di riconoscere le facies distintive.

I risultati delle analisi stratigrafiche mostrano come la successione carbonatica che ospita le grotte sia costituita dai termini del Cretacico della Piattaforma Carbonatica Panormide. Si tratta, in particolare di depositi peritidali nei quali si alternano litofacies subtidali con molluschi, alghe e foraminiferi bentonici a livelli stromatolitici e loferitici (Fig.5).

L'analisi delle microfacies presenti ha consentito di determinare un'associazione fossilifera caratteristica del Cretacico Inferiore (Tav. 1); in particolare, la presenza del biomarker *Orbitolinopsis capuensis* (DE CASTRO) permette di attribuire la successione all'intervallo Barremiano-Aptiano.

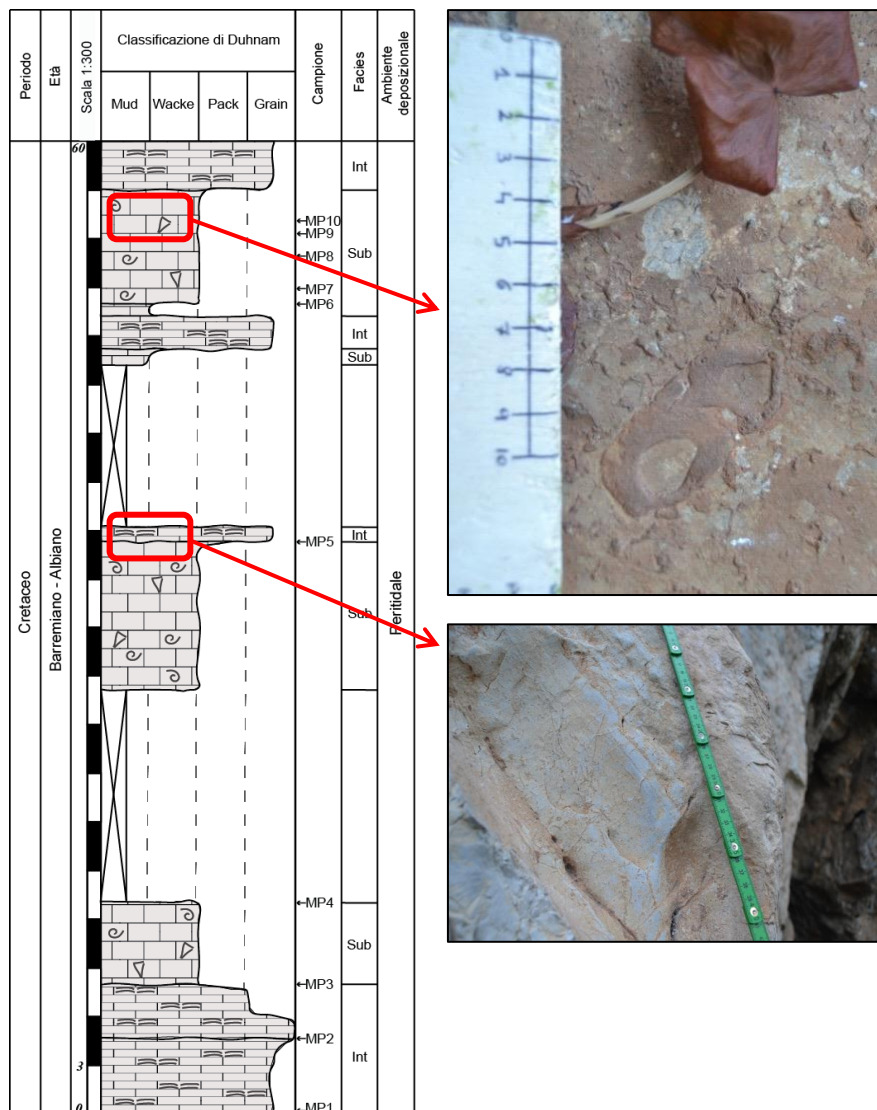
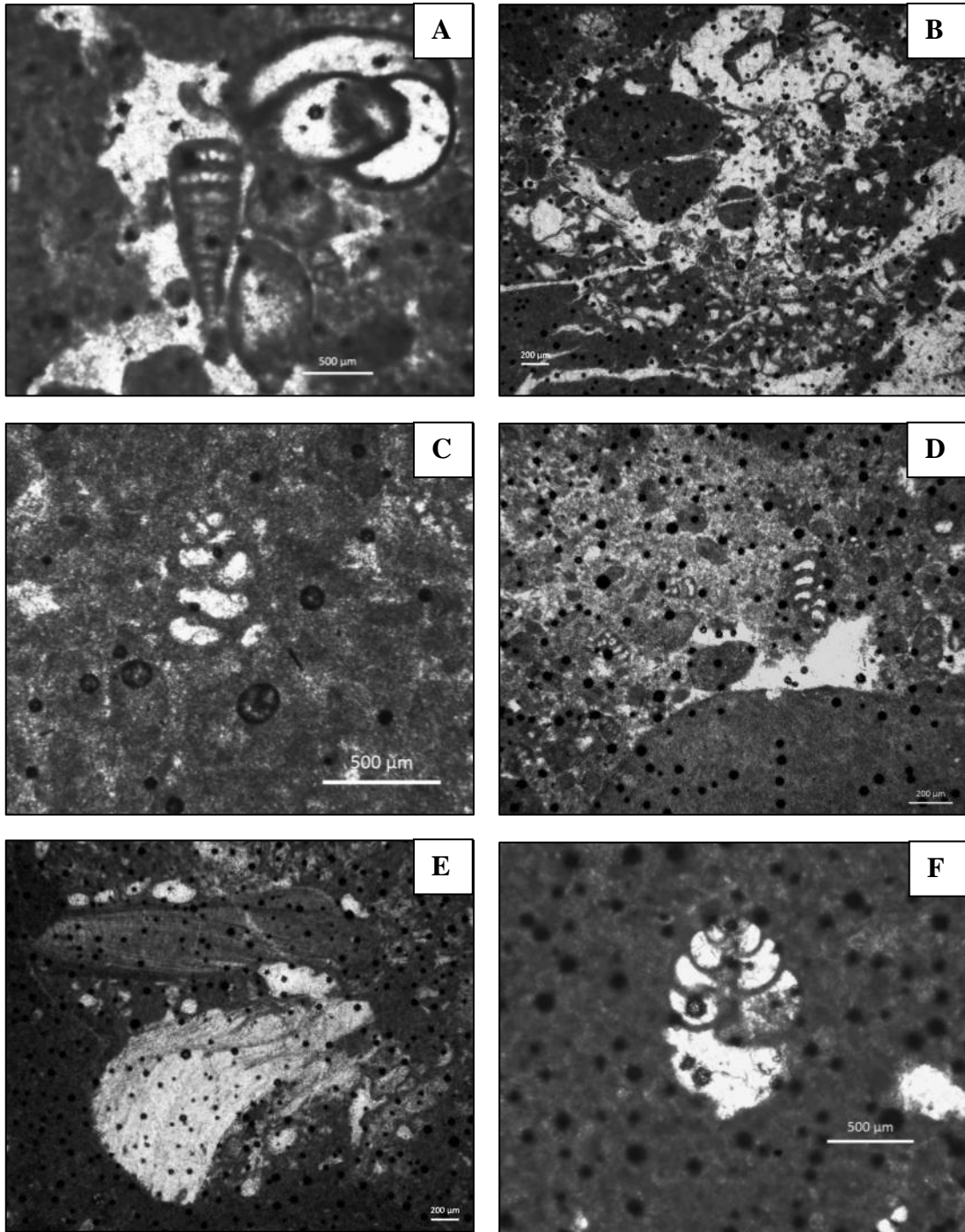


Fig. 5 - Log della successione stratigrafica studiata.



**Tavola 1** - **A)** *Pseudotextulariella scarsellai* (DE CASTRO), sezione MP5, scala 500 μm. **B)** *Bacinella irregularis*, sezione MP7, scala 200 μm. **C)** *Orbitolinopsis capuensis*, sezione MP7, scala 500 μm. **D)** Foraminiferi bentonici, sezione MP7, scala 200 μm. **E)** Frammenti di Rudiste, sezione MP9, scala 200 μm. **F)** *Siphovalvulina* sp., sezione MP10, scala 500 μm.

L'analisi geostrutturale della porzione di versante in studio, risulta utile ai fini della predisposizione di opere ingegneristiche idonee alla riduzione del rischio da caduta massi. In passato, dal fronte si sono verificati crolli, tant'è che l'area è considerata a "pericolosità P4 - molto elevata" e indicata a "rischio R4 - molto elevato" nel vigente P.A.I.

La caratterizzazione geomeccanica di un ammasso roccioso necessita di un'indispensabile raccolta di informazioni sui parametri di orientazione e geomeccanici effettuata tramite l'esecuzione di rilievi geostrutturali; basandosi sulle raccomandazioni *ISRM – International Society of Rock Mechanics* (1978) sono stati eseguiti sia rilievi lungo scanlines che rilievi random.

Tramite l'elaborazione statistica dei poli di ognuna delle 383 superfici di discontinuità riscontrate, effettuata per mezzo del software *Dips 5.1*, sono state riconosciute 4 famiglie principali a cui ricondurre tutte le discontinuità rilevate. Queste ultime, unitamente al meridiano rappresentativo del fronte roccioso, sono rappresentate nel diagramma di Fig. 6.

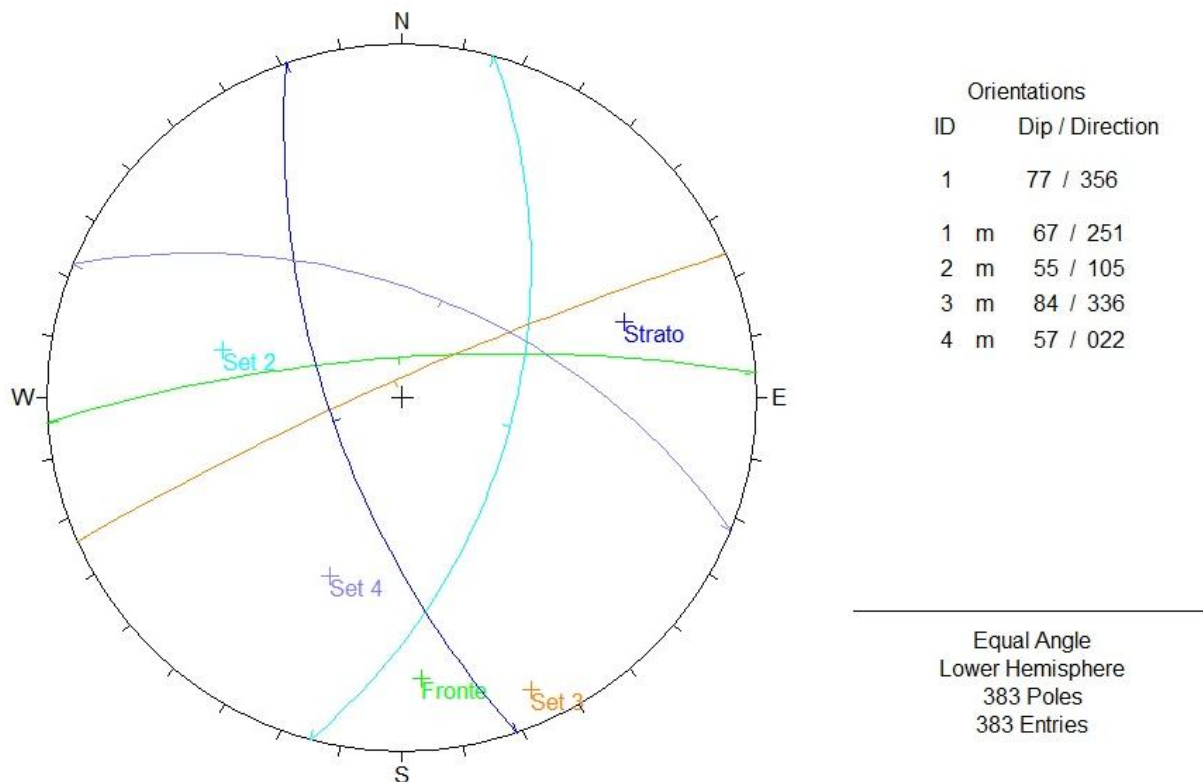


Fig. 6 - Elaborazione statistica dati di orientazione: meridiani rappresentativi e valori medi di Dip e Dip direction dei sets di discontinuità elaborati sul totale dei dati misurati.

Nel caso in studio, le discontinuità sono caratterizzate sempre da spaziature e persistenze variabili dal decimetro ai metri, con aperture inferiori al centimetro e JRC superiore ad 8. Ne risulta un ammasso roccioso caratterizzato da una configurazione "a blocchi", il cui modello geotecnico di riferimento è denominato "rigido-discontinuo". In tali condizioni i blocchi possono essere

considerati come corpi rigidi, le cui condizioni di stabilità sono funzione della struttura orientata dell'ammasso.

L'analisi dei meridiani rappresentativi di ogni set e le loro intersezioni, nonché le interazioni di questi ultimi con il fronte roccioso della parete di Monte Pellegrino in zona Addaura, ha portato all'identificazione di alcuni possibili cinematismi che potrebbero evolvere a fenomeni di instabilità della stessa:

- **Toppling**, le discontinuità appartenenti al set 3, il cui meridiano rappresentativo presenta parametri caratteristici medi  $\beta_m = 336^\circ$  e  $\alpha_m = 84^\circ$ , possono provocare dei cinematismi di ribaltamento.
- **Sliding plane failure**, lo scorrimento di questo tipo è ammissibile considerando le discontinuità appartenenti al set 4 con valori medi caratteristici di  $\beta_m = 22^\circ$  e  $\alpha_m = 57^\circ$ ; per tal motivo risulta  $\alpha_m < \alpha_{\text{fronte}}$ .
- **Sliding wedge failure**, la retta di intersezione delle discontinuità appartenenti alle famiglie 1 e 4 presenta parametri caratteristici  $\alpha_{\text{retta}} = 38^\circ$  e  $\beta_{\text{retta}} = 322^\circ$ . L'inclinazione risulta inferiore a quella del fronte roccioso e determina il possibile cinematismo.

Le verifiche sulla stabilità dell'ammasso roccioso permettono di affermare che i cinematismi precedentemente enunciati, sono meccanicamente possibili, in particolare:

- Le analisi di stabilità attinenti al cinematismo di *toppling*, trattandosi della tipologia nella quale la sola forza peso del blocco non ne permette il movimento, conducono ad affermare che esso risulta meccanicamente possibile esclusivamente in presenza di sisma, in quanto la forza peso è stabilizzante.
- Le analisi di stabilità attinenti ai cinematismi di *sliding*, tengono in considerazione il confronto tra l'inclinazione " $\alpha_s$ " del piano (nel caso di *plane failure*) o della retta (nel caso di *wedge failure*) di scivolamento e l'angolo di resistenza al taglio " $\phi$ " della roccia lungo la discontinuità. Nei calcoli sono stati utilizzati i risultati di prove di taglio lungo giunti naturali presenti nella roccia calcarea che costituisce i Monti di Palermo, secondo Cafiso et al. (1993), con valore medio di  $54^\circ$ .

Ne deriva che il primo, caratterizzato da  $\alpha_s = 57^\circ$ , è meccanicamente possibile anche senza tenere in considerazione l'eventuale effetto di un sisma. Il secondo, caratterizzato da  $\alpha_s = 38^\circ$ , non è meccanicamente possibile in presenza della sola forza di gravità, ma lo diverrebbe in presenza di un evento sismico.

Per mitigare il rischio di caduta massi alla base del tratto di versante in esame, viene proposta la realizzazione di interventi da effettuare esclusivamente in parete. Nel caso specifico, tenendo in considerazione la valenza paesaggistica e archeologica dell'area ed i vincoli ai quali quest'ultima è soggetta, si è optato per interventi di tipo attivo:

- **Esteso**, tramite l'applicazione di pannelli di funi, fissati alla parete mediante un sistema di ancoraggi meccanici realizzati con tiranti del tipo "a bulbo iniettato", ed utilizzabili soprattutto sulla fascia di cresta del costone roccioso, in cui si riconoscono blocchi lapidei in equilibrio instabile di dimensioni contenute quasi senza soluzione di continuità (Fig. 7a).
- **Puntuale**, tramite imbracature con funi di acciaio ancorate a tiranti dello stesso tipo di quelli su descritti, mirati al consolidamento di singoli blocchi in equilibrio instabile lungo la parete (Fig. 7b).



*Fig. 7a - Esempio di blocchi in equilibrio instabile nella parte sommitale del versante.*



*Fig. 7b - Esempio di blocchi in equilibrio instabile lungo la parete.*

Mediante gli studi di carattere geologico, geomeccanico e geotecnico effettuati è stato possibile caratterizzare con maggior dettaglio il versante, al piede del quale è sita la Grotta delle Incisioni parietali paleolitiche, nella futura ottica di permettere la riapertura dell'area ai visitatori e farne conoscere le peculiarità geologiche oltre che archeologiche, inserendo il tutto in un contesto più ampio di conoscenza e valorizzazione del territorio, anche attraverso la realizzazione di un percorso geoturistico.