

### Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania Aggiornamento anno 2010



Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) è stato redatto alla scala 1:5000 su Cartografia Tecnica Regionale (ed. 2004 - 2005)

#### **GRUPPO DI PROGETTO**

#### Responsabili scientifici

prof. ing. Michele Di Natale (conv. 04/2007) prof. geol. Roberto de Riso (conv. 03/2007)

Consulenza giuridica avv. Angelo Marzocchella (Avvocatura Regionale) Coordinamento generale di progetto arch. Paolo Tolentino

Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania geol. Stefania Coraggio ing. Luigi Iodice ing. Pasquale Laezza arch. Pietro Paolo Picone geol. Antonella Riccio geol. Assunta Maria Santangelo

#### SUPPORTO SCIENTIFICO

CIRIAM - Centro Interdipartimentale di Ricerca in Ingegneria Ambientale della Seconda Università degli Studi di Napoli (conv. 02/2007) responsabili:

prof. ing. Corrado Gisonni, prof. ing. Alessandro Mandolini

collaboratori convenzionati dal CIRIAM ing. Agostino Santillo ing. Luca Cristiano ing. Diego Di Martire ing. Anna Di Mauro arch. Valeriano Pesce ing. Eleonora Quaranta ing. Liberata Tufano

società convenzionate dal CIRIAM: Tecnorilievi s.r.l. per il rilievo topografico Idrogeo s.r.l. per l'indagine geotecnica DIGA - Dipartimento di Ingegneria Idraulica Geotecnica ed Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II (conv. 01/2007) responsabile:*prof. geol. Domenico Calcaterra* 

coordinatore: prof. geol. Antonio Santo

collaboratori convenzionati dal DIGA geol. Melania De Falco geol. Sossio Del Prete arch. Maria De Rosa geol. Giuseppe Di Crescenzo geol. Luca Di Iorio geol. Vittorio Emanuele Iervolino geol. Biagio Palma geol. Marcello Rotella

IL SEGRETARIO GENERALE dott. Giuseppe Catenacci

### SOMMARIO

1. PREMESSA
2. L'AREA IN ESAME ED IL RISCHIO DA FRANA
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO4
4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA IN ESAME
4.1 Assetto geologico-strutturale5
4.2 La coltre piroclastica9
4.3 Aspetti geomorfologici10
4.4 Fenomeni d'instabilità13
5. INDAGINI GEOSTRUTTURALI E GEOMECCANICHE
5.1 Metodologia d'indagine
5.2 Descrizione dei rilievi geostrutturali e geomeccanici21
5.3 Sintesi dei risultati
6. ANALISI DELLA CADUTA DI BLOCCHI
7. CRITERI D'INTERVENTO
7.1 Interventi attivi
7.1.1 Variazioni della geometria del versante
7.1.2 Modifiche delle condizioni piezometriche
7.1.3 Modifiche della resistenza meccanica dell'ammasso roccioso
7.1.4 Protezione della superficie dell'ammasso dall'alterazione
7.2 Interventi passivi
7.3 Monitoraggio della caduta-massi 40
8. LINEE-GUIDA PER LO STUDIO DI VERSANTI IN ROCCIA 42
9. BIBLIOGRAFIA
APPENDICE A
APPENDICE B
APPENDICE C
APPENDICE D



### **1. PREMESSA**

Nell'ambito delle Convenzioni stipulate tra l'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania (di seguito, AdB), il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale (di seguito, DIGA) dell'Università di Napoli Federico II ed il Centro Interdipartimentale di Ricerca in Ingegneria AMbientale (di seguito, CIRIAM) della Seconda Università di Napoli, aventi per oggetto le attività di studio finalizzate all'aggiornamento del Piano per l'Assetto Idrogeologico, è stato svolto uno studio di dettaglio che ha riguardato la suscettibilità a franare di un versante in roccia ubicato nel teritorio comunale di Taurano (AV). Ciò in ottemperanza a quanto previsto dall'art. 2 delle suddette Convenzioni, dove era richiesto al DIGA ed al CIRIAM di definire una metodologia di studio relativa alla suscettibilità all'innesco-transito-invasione per frane in roccia, sulla base di aree-campione concordate con l'AdB.

Lo studio sull'area-campione di Taurano è stato eseguito attraverso rilevamenti geologico-geomorfologici e rilievi geostrutturali-geomeccanici, a loro volta seguiti da alcune analisi di stabilità. Il presente studio si integra con quanto prodotto da DIGA e CIRIAM relativamente ad un progetto-pilota di mitigazione del rischio in aree interessate da fenomeni di crollo in roccia, sviluppato su un area-campione ricadente nel territorio dell'isola d'Ischia ed oggetto di apposita Convenzione con l'AdB.

Nello scritto che segue si relaziona sulle metodologie adottate e sui risultati conseguiti. Si sviluppano quindi alcune considerazioni di carattere generale sui criteri d'intervento utili alla mitigazione del rischio da frane in roccia, per concludere con una sintetica elencazione delle principali fasi di studio necessarie ad affrontare compiutamente il tema esemplificato dal caso di studio illustrato in questa sede.



### 2. L'AREA IN ESAME ED IL RISCHIO DA FRANA

L'area-campione, considerata per la valutazione delle condizioni di stabilità degli ammassi rocciosi soggetti a crolli, costituisce il fianco meridionale di un versante allungato in direzione WNW-ESE, a monte dell'abitato di Taurano. Un lungo taglio stradale a mezza costa che va da Taurano a Visciano caratterizza la zona pedemontana del versante.

Il tratto di strada è caratterizzato da medie pendenze nel segmento inferiore, mentre nel settore a quote più elevate la pendenza del tracciato è più pronunciata. Il tratto inferiore si sviluppa su una superficie costituita da depositi piroclastici sciolti indifferenziati, che poggiano a loro volta sulle Unità meso-cenozoiche dei Monti Picentini-Taburno. Il tratto di cresta del versante è compreso tra quote variabili tra 550 ed 800 m s.l.m. circa.

Su tale tratto di strada insiste il versante meridionale del rilievo denominato "Pietra Maula". Tale versante è per lo più classificato a Pericolosità Alta (P3), e, per limitati settori quali la piana sommitale e alcuni tratti di cresta, a Pericolosità Media (P2) o Bassa (P1) (Fig. 2.1). Per quanto riguarda le condizioni di rischio dell'area, lungo il versante sono prevalenti le aree a rischio molto elevato (R4) (Fig. 2.2).





Fig. 2.1 - Stralcio della Carta della Pericolosità da Frana (scala originale 1:5.000), redatta dall'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, edizione 2009. In rosso, aree a suscettibilità alta all'innesco, transito e/o all'invasione da frana (P3); in arancio, aree a suscettibilità media all'innesco, transito e/o all'invasione da frana (P2); in verde, aree a suscettibilità bassa all'innesco, transito e/o all'invasione da frana (P1),



Fig. 2.2 - Stralcio della Carta del Rischio da Frana (scala originale 1:5.000), redatta dall'Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, edizione 2009. In rosso, aree a rischio molto elevato (R4); in arancio, aree a rischio elevato (R3); in verde scuro, aree a rischio medio (R2); in verde chiaro, aree a rischio moderato (R1)



### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

Il settore di versante in esame ricade nel territorio comunale di Taurano, ubicato all'interno del bacino del Vallo di Lauro. Tale bacino è delimitato a Nord ed a Sud da due monoclinali calcaree, allineate in direzione appenninica (NW-SE) e sollevate per l'azione di faglie regionali attive durante il Plio-Quaternario che hanno interessato il bordo orientale della Piana Campana (Brancaccio & Cinque, 1988).

Le alture che costituiscono la dorsale carbonatica si elevano fino ad oltre 1000 m di quota (Pizzo d'Alvano, 1133 m; M. Pizzone, 1109 m). L'ossatura dei rilievi è costituita da calcari e calcari dolomitici prevalentemente giurassici e cretacici riferibili all'Unità stratigrafico-strutturale dei Monti Picentini-Taburno (Bonardi *et alii*, 1988).

Sui terreni mesozoici solo localmente sono conservati piccoli lembi di *flysch* miocenici. Molto più diffusi sono invece i depositi clastici quaternari che sono essenzialmente costituiti da brecce di versante, ghiaie di conoide e depositi alluvionali che riempiono le valli principali e ricoprono le zone di raccordo tra i versanti e le piane.

Sul substrato carbonatico, inoltre, poggiano, in modo esteso e diffuso, depositi piroclastici da caduta costituiti da cineriti e livelli di pomici di provenienza prevalentemente vesuviana e di età tardo-pleistocenica ed olocenica.

I lineamenti geomorfologici principali dell'area sono, ovviamente, condizionati dall'assetto litologico e strutturale dei versanti. Pertanto l'assetto monoclinalico della dorsale consente l'insorgere di forme più aspre ad elevata acclività (30-35°), legati ad antichi versanti di faglia, la cui attuale geometria è da ricondurre ad uno sviluppo secondo il noto modello della recessione rettilineo-parallela (*slope replacement* o *cliff recession*). Tali versanti sono spesso incisi da corsi d'acqua susseguenti che, nelle zone di raccordo con le piane, hanno alimentato conoidi talora ancora attive.

L'assetto tettonico generale è caratterizzato da importanti faglie regionali che hanno ribassato, secondo la classica forma a gradinata, porzioni della Catena appenninica. Le lineazioni strutturali predominanti sono costituite da faglie a direzione prevalente NW-SE (appenninica) e subordinatamente E-W, a loro volta "tagliate" da faglie trasversali (antiappenniniche), spesso con caratteri di trascorrenza.



### 4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA IN ESAME

### 4.1 Assetto geologico-strutturale

Il versante che sovrasta l'abitato di Taurano è orientato in direzione WNW-ESE ed è un versante strutturale, costituito da rocce carbonatiche ben stratificate, da riferire alle *Unità meso-cenozoiche dei Monti Picentini-Taburno.* Al di sotto della balza rocciosa sommitale, il versante è diffusamente ricoperto da depositi piroclastici. Scendendo ulteriormente di quota è presente una significativa copertura detritica, costituita da materiale piroclastico misto a frammenti calcarei di varie dimensioni, poggiante a luoghi sulle piroclastiti in posto. Il versante, dal punto di vista strutturale, è interessato da una serie di discontinuità strutturali (faglie e *master joint*) che hanno, tra l'altro, favorito l'impianto di forme di origine carsica, visibili in particolar modo lungo le pareti rocciose che caratterizzano alcuni tratti più acclivi, sub-verticali, presenti nella parte alta.

Più nel dettaglio, le rocce affioranti e costituenti l'immediato sottosuolo (Fig. 4.1) sono da riferire ai seguenti complessi litologici, elencati dall'alto verso il basso:

- Depositi piroclastici indifferenziati;
- Depositi detritici di versante;
- Conglomerati e brecce del T. Clanio e Masseria Marchese;
- Conglomerati e brecce sospese antiche;
- Unità litostratigrafica arenaceo-pelitico-calcareo-marnosa;
- Calcari e calcari dolomitici di Lauro.
- <u>Depositi piroclastici indifferenziati</u>. Depositi piroclastici da caduta, costituiti da ceneri, lapilli e pomici, ben classati granulometricamente. Essi risultano organizzati in strati e lenti quando il grado di cernita è elevato. Tali depositi colmano le conche endoreiche e le piane alluvionali (*PSI1*) o le aree sommitali e sub-pianeggianti dei rilievi (*PSI2*) dei quali non è dato osservare la stratigrafia completa. La struttura del deposito è influenzata dalla topografia e pertanto risulta non tabulare. Il rimaneggiamento è ricorrente in *PSI1*. I

autorità di bacino

depositi in giacitura primaria sono stratificati e sono caratterizzati da strati massivi di ceneri e strati di pomici. Gli strati massivi di ceneri hanno granulometria fine generalmente compresa tra i lapilli e le ceneri (tipo tessiturale compreso tra la sabbia limosa e il limo sabbioso) e sono di colore variabile dal grigio chiaro al marrone scuro; essi sono, di regola, depositi di caduta associati a depositi di pomici di eruzioni pliniane e sono frequentemente sottoposti a pedogenesi. Gli strati di pomici (con spigoli vivi) costituiscono livelli grano-sostenuti di piccolo e medio spessore e di colore marrone chiaro, bianco o grigio-verde. Essi hanno spessore e granulometria variabile, sono caratterizzati da una buona cernita e sono, per lo più, con gradazione verticale inversa. In alcuni depositi le pomici inglobano frammenti litici, lavici o calcarei. I depositi piroclastici rimaneggiati si presentano con strutture massive costituite da clasti arrotondati di pomici, di scorie ed elementi calcarei a spigoli vivi flottanti entro la massa cineritica, talora argillificata, del tipo granulometrico della sabbia limosa e del limo. Presentano interstrati o lenti di detrito calcareo soprattutto nelle porzioni superiori del detrito di falda (Dta). Olocene - Pleistocene sup.





Fig. 4.1 – Stralcio della Carta geolitologica relativo alla dorsale di Pietra Maula (Autorità di Bacino NW della Campania, 2009).

- Depositi detritici di versante con terreni eluvio-colluviali (Dta). Alternanze di lenti o strati lateralmente discontinui di pietrisco calcareo con matrice sabbioso-limosa a composizione cineritica; brecce calcaree con cemento calcitico, talvolta interessate da pigmentazione ematitica; sabbie con ciottoli di natura arenacea, calcarea e silicea; la porzione più superficiale di questi depositi è composta da limi e sabbie limose a composizione cineritica con dispersi clasti calcarei eterometrici costituenti livelli di piroclastiti da caduta, ovvero colluvium. A luoghi, e prevalentemente in corrispondenza degli sbocchi delle aste torrentizie, si rinvengono depositi disorganizzati e destrutturati dei corpi di frana del tipo colate detritico-fangose, costituiti da sabbie e limi a composizione cineritica, con dispersi ciottoli calcarei oppure con nuvole di elementi litici calcarei ed arenacei eterometrici. In superficie è presente, di regola, una copertura piroclastica sia rimaneggiata che in giacitura primaria. Olocene-Pleistocene sup.
- <u>Conglomerati e brecce del T. Clanio e di Mass. Marchese (BrC2)</u>. Conglomerati a clasti carbonatici di dimensioni comprese tra 1 m<sup>3</sup> e 15 cm, con scarsa



matrice e con cemento calcitico. Subordinatamente, brecce a clasti esclusivamente carbonatici di dimensioni variabili da pochi cm a circa 1 m<sup>3</sup>, con scarsa matrice, ben cementati ma microcarsificati, organizzati in corpi clinoformi con pendenze di circa 35°. *Pleistocene sup*.

- <u>Conglomerati e brecce sospese antiche (BrC1)</u>. Conglomerati e brecce, talora stratificati, ad elementi calcarei eterometrici, con matrice calcareo-marnosa e cemento calcitico; la matrice è anche di colore marrone o rossastro per ossidazione. Tali litotipi costituiscono antichi *glacis* deposizionali sollevati dalla tettonica. *Pleistocene medio-inferiore*.
- <u>Unità litostratigrafica arenaceo-pelitico-calcareo-marnosa (UCP)</u>. Arenarie arcosiche e litoarenitiche con mica bianca, gradate, laminate, di colore marroncino; alla base si osservano argille policrome (di colore rosso e verde in prevalenza) scagliose, e marne grigie e giallastre a frattura prismatica. Subordinatamente calcari marnosi, argille siltose e arenarie ibride, marne e calcari marnosi di colore grigio, calciatiti e rare calcareniti torbiditiche e calciruditi bioclastiche. *Aquitaniano – Paleogene*.
- <u>Calcari e calcari dolomitici di Lauro (CDL</u>). Calcari e calcari dolomitici, ricchi di rudiste, di colore grigio, biancastro o avana, in strati da spessi a medi, con frequenti intercalazioni di dolomie grigie. Contenuto fossilifero: *Radiolitidae*, *Hippuritidae*, *Accordiella* conica *FARINACCI*, *Rotorbinella scarsellai TORRE*, *Cuneolina pavonia parva HENSON*, *Thaumatoporella parvovesiculifera RANIERI*, *Rotalidae*, *Miliolidae*, *Discorbidae*. *Santoniano Aptiano*.

Dal punto di vista strutturale l'area è caratterizzata da un quadro fessurativo articolato dove i sistemi di discontinuità prevalenti (faglie e *master joint*) presentano orientazione N-S e E-W; subordinatamente sono presenti lineazioni strutturali a direzione NNW-SSE. Le faglie, come evidente dalla disposizione delle strie di abrasione meccanica e dai gradini di calcite, sono in diversi casi da riferire a movimenti orizzontali (faglie trascorrenti) con direzione N140-150°, od obliqui



(trastensive o traspressive), che si sono impostati su preesistenti piani a diversa pendenza ma generalmente sub-verticali (faglie dirette).

### 4.2 La coltre piroclastica

I depositi di copertura piroclastica e detritico-piroclastica rinvenuti sono stati suddivisi nelle seguenti classi di spessore:

- *Ca:* substrato carbonatico affiorante;
- coperture di spessore inferiori a 0.5 m;
- coperture di spessore compreso tra 0.5 e 2 m;
- coperture di spessore compreso tra 2 e 5 m;
- coperture di spessore compreso tra 5 e 20 m.

Dalla Figura 4.2 è ben evidente come il settore di cresta sia caratterizzato, per lo più, da calcari affioranti. La maggior parte del versante è invece generalmente ricoperta da coltri di spessore compreso tra 0.5 e 2 m e subordinatamente inferiore a a 0.5 m.

La copertura è data per lo più da una successione stratigrafica costituita da due livelli di *tefra* pomiceo (pomici delle eruzioni di Mercato ed Avellino) intercalati tra tre livelli di *tefra* cineritico poggianti su livelli o lenti di detrito calcareo alla base del deposito piroclastico.

La copertura vegetale lungo il versante è discontinua e costituita per lo più da arbusti e piante di medio fusto.





Fig. 4.2 – Stralcio della Carta delle coperture detritico-piroclastiche del versante meridionale di Pietra Maula (Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 2009).

### 4.3 Aspetti geomorfologici

L'area campione costituisce il fianco meridionale di un versante allungato in direzione WNW-ESE posto a monte dell'abitato di Taurano (Fig. 4.3). Un lungo taglio stradale a mezza costa che va da Taurano a Visciano interessa la zona pedemontana del versante. Il tratto di strada è caratterizzato da medie pendenze nel segmento inferiore mentre nel settore a quote più elevate la pendenza del tracciato è più pronunciata.

Il tratto di cresta del versante (loc. Pietra Maula) è compreso tra quote variabili tra 550 ed 800 m s.l.m. circa; al di sotto di questa fascia si snoda un'area caratterizzata da pareti rocciose con acclività media intorno ai 45° e con tratti talora sub-verticali.



Lungo questa fascia i calcari sono affioranti e tra le testate di strato si riconosce, a luoghi, la presenza di materiale piroclastico.

I fenomeni di instabilità si concentrano essenzialmente sulle pareti degli speroni rocciosi più sporgenti. Al di sotto della fascia di cresta il versante assume un'acclività minore, compresa tra i 35° ed i 37°, ed è diffusamente ricoperto da una coltre piroclastica che ha spessore variabile. Scendendo di quota l'acclività diminuisce ulteriorimente, mantenendosi al di sotto dei 22°.

Gli elementi geomorfologici salienti dell'area in esame sono riconducibili a tre tipologie fondamentali:

- paleosuperficie sommitale;
- versante di faglia bordiera con impluvi associati,
- fascia pedecollinare.



Fig. 4.3 - Visualizzazione 3D dela dorsale di Pietra Maula.

Paleosuperficie sommitale



É rappresentata da brandelli di superficie sub-pianeggiante posti ad una quota compresa tra 580 e 700 m s.l.m.. Il suo carattere saliente è dato, oltre che dalla posizione, dai bassi valori d'acclività (10° ca.), effetto di antiche fasi di spianamento, a loro volta conseguenti all'emersione della serie carbonatica durante il Terziario. In quest'area è assente ogni traccia, seppur blandamente organizzata, di reticolo idrografico, così come forme o indizi riconducibili a dissesti di qualsivoglia genere.

### Versante di faglia bordiera con impluvi associati

Buona parte dell'area si caratterizza per la presenza di un versante (acclività compresa tra 35° e 45°) modellato secondo il meccanismo dell'arretramento rettilineo-parallelo di piani di faglia (*slope replacement*). La parte alta del versante è caratterizzata da cornici ed orli di scarpata influenzati dalla struttura, culminanti negli speroni più sporgenti (quote 715, 677 e 652 m s.l.m.), situati in corrispondenza dell'abitato di Taurano, sui quali si concentrano i principali fenomeni di instabilità. La continuità dei profili trasversali dei versanti è interrotta, oltre che dalle su citate pareti sub-verticali, anche dalla presenza di alcuni impluvi e di solchi di ruscellamento concentrato. In quest'area l'assetto strutturale dell'ammasso roccioso è piuttosto caotico e con una fratturazione pervasiva. La presenza dei litotipi carbonatici e, in particolar modo, di rocce carbonatiche in associazione con la presenza di faglie e fratture ha favorito, inoltre, lo sviluppo di fenomeni carsici epigei.

I fenomeni morfoevolutivi attivi lungo l'intero versante sono da ricondurre, *in primis*, a frane da crollo nei litotipi carbonatici e, subordinatamente, al dilavamento delle esigue coltri piroclastiche in appoggio sul substrato carbonatico ad opera delle acque dilavanti.

### Fascia pedecollinare

La fascia pedecollinare rappresenta il raccordo morfologico tra il versante e l'area dell'abitato di Taurano. In tale area il pendio diviene nettamente più dolce con acclività al di sotto dei 22° e corrisponde ad un'area di versante in cui è presente una



significativa copertura detritica, costituita da materiale piroclastico misto a frammenti carbonatici di varie dimensioni e poggiante a luoghi sulle piroclastiti in posto.

### 4.4 Fenomeni d'instabilità

I processi morfoevolutivi attivi lungo il settore di versante in esame sono essenzialmente da riferire a frane da crollo, scivolamento e subordinatamente ribaltamento in rocce carbonatiche. L'orientazione delle varie balze rocciose, in considerazione del quadro fessurativo caratterizzante l'ammasso roccioso (§ 5), favorisce il distacco di massi di dimensioni generalmente inferiori al metro cubo.

In particolare, il versante meridionale di Pietra Maula è caratterizzato da strati e, talora, bancate a sbalzo che generano la classica morfologia a "tetti" (Fig. 4.4), tipica di molti fronti rocciosi naturali. Gli strati a sbalzo possono rompersi per trazione (tipo 1 in Fig. 4.5 e Fig. 4.6) o taglio (tipo 2 in Fig. 4.5 e Fig. 4.7). Il distacco di tipo 1 interessa di norma strati continui e di modesto spessore, che danno luogo a mensole più snelle. La rottura a trazione difficilmente avviene nel materiale roccioso, quanto piuttosto lungo giunti non persistenti caratterizzati da una certa resistenza. Il distacco di tipo 2 si verifica, invece, qualora la bancata sia spessa, la mensola più tozza e vi sia una discontinuità sub-parallella al fronte con ponti tra le discontinuità di esiguo sviluppo areale. In alcuni casi, nella situazione di tipo 1, la rottura può avvenire anche quando il giunto subverticale è situato a tergo dell'appoggio della mensola (tipo 3). In questo caso, si verifica un ribaltamento della mensola innescato dalla progressiva rottura dell'appoggio costituito da roccia fittamente stratificata (o da un sottile setto) e dovuto alla concentrazione di sforzi sotto il peso degli strati sovrastanti.





Fig. 4.4 - Tipica morfologia "a tetti" (foto tratta da: Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 2002).





Fig. 4.5 - Schemi dei meccanismi di instabilità osservati lungo il versante in esame.

Talora si è riscontrato che l'ammasso roccioso è suddiviso da strati di spessore contenuto che conducono ad una stretta interazione tra le varie lastre al punto che non possono essere più considerate indipendenti (meccanismo di tipo 4).





Fig. 4.6 - Instabilità di tipo 1: mensola snella a sbalzo (foto tratta da: Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 2002).



Fig. 4.7 - Instabilità di tipo 2 (mensola tozza a sbalzo) e di tipo 5 (blocco isolato con appoggio al piede) (foto tratta da: Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 2002).

Frequentemente, nelle bancate più potenti interessate da giunti sub-paralleli ravvicinati, si verificano le condizioni di ribaltamento o scivolamento. Il ribaltamento è determinato dalla spinta nella frattura a tergo, esercitata da radici, acqua o ghiaccio e dalla riduzione dell'appoggio al piede per rotture localizzate nel materiale roccioso (meccanismo di tipo 5; Fig. 4.6). In alcuni casi la persistenza della frattura a tergo non è tale da isolare completamente il blocco, che rimane saldato all'ammasso roccioso circostante. Lungo le fasce sommitali di alcune balze rocciose l'ammasso presenta discontinuità caratterizzate da ampie aperture e, quindi, l'ammasso è allentato. Tale situazione favorisce il distacco dei blocchi dal fronte che, però, sono di





modeste dimensioni (Fig. 4.8).

Fig. 4.8 - Fenomeni di instabilità lungo la fascia sommitale del versante (foto tratta da: Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 2002).



# **5. INDAGINI GEOSTRUTTURALI E GEOMECCANICHE**

### 5.1 Metodologia d'indagine

Al fine di caratterizzare gli ammassi rocciosi affioranti lungo il versante in esame, sono state eseguite delle misure relative alle principali caratteristiche delle discontinuità. Tale procedura ha consentito la definizione del quadro fessurativo dell'ammasso, la stima del volume dei blocchi unitari ed i potenziali cinematismi di instabilità.

Sono state quindi eseguite 7 stazioni di misura distribuite lungo il fronte in esame, ciascuna delle quali articolata su due stendimenti disposti "a croce", ovvero con andamento rispettivamente orizzontale e verticale.

La metodologia utilizzata per la realizzazione dei rilievi geomeccanici è quella indicata nelle raccomandazioni della Società Internazionale di Meccanica delle Rocce (ISRM, 1978) per la descrizione quantitativa delle discontinuità negli ammassi rocciosi. Per ogni stazione sono state eseguite misure relative a:

- <u>Giacitura del fronte</u>: ricavata con l'uso della bussola di Clar ed espressa attraverso i valori di immersione ed inclinazione.
- <u>Giacitura delle superfici dei giunti</u>: immersione e inclinazione dei giunti, necessarie ad identificare la presenza di eventuali famiglie di discontinuità e le loro interazioni nel formare blocchi potenzialmente instabili.
- <u>*Tipo di discontinuità*</u>: distinte tra giunti di strato, *joints* e faglie.
- <u>Distanza progressiva</u>: distanza in metri del giunto rilevato dall'inizio dello stendimento; utile per la determinazione della spaziatura delle discontinuità e, quindi, delle dimensioni dei blocchi.
- Lunghezza dei giunti: lunghezza del singolo giunto, espressa in metri.
- <u>*Persistenza dei giunti*</u>: codice letterale che esprime le terminazioni degli estremi dei giunti (su roccia, su discontinuità o non visibile).
- <u>Scabrezza</u>: misurata con un profilografo o "pettine" di Barton, consente di ricavare la morfologia del profilo della superficie del giunto, da confrontare a sua volta con profili *standard* (Fig. 5.1), al fine di ricavare l'indice di rugosità JRC (Joint Roughness Coefficient).



- <u>Apertura</u>: distanza tra le pareti della discontinuità, espressa in mm.
- *Forma*: piana, ondulata o segmentata, a seconda di come si presenta la traccia della discontinuità.
- <u>Riempimento</u>: tipo di riempimento delle discontinuità aperte (assente, coesivo o incoerente).
- <u>Acqua</u>: eventuale presenza d'acqua nei giunti con quattro possibilità (asciutto, umido, stillicidio, venute).
- <u>Compattezza</u>: resistenza alla compressione uniassiale delle pareti della discontinuità misurata eseguendo dieci prove con il *martello di Schmidt*, strumento che consente di calcolare il *JCS* (*Joint Compressive Strength*).





Fig. 5.1 - Profili di rugosità (ISRM, 1978).

In *Appendice A* sono riportate, per ciascuno stendimento, tutte le informazioni relative alle singole discontinuità misurate e, per una visione sinottica delle loro principali caratteristiche, i relativi elaborati grafici.

Per ciascuna stazione i dati di orientazione delle discontinuità sono stati raccolti in proiezione equiareale polare e poi raggruppati per famiglie (*clustering*). Successivamente, le singole famiglie sono state rappresentate in proiezione equatoriale di *Lambert-Schmidt* insieme con l'orientazione media dei fronti; ciò al fine di tracciare, per ciascuna discontinuità principale, la relativa ciclografica.



## 5.2 Descrizione dei rilievi geostrutturali e geomeccanici

Come detto in precedenza sono state realizzate 7 stazioni di misura (Fig. 5.2) con stendimenti orizzontali e verticali per un totale di 14 profili.

Le misure eseguite hanno evidenziato la presenza, complessivamente, di quattro famiglie di discontinuità principali, due famiglie di strati ed una faglia, la cui giacitura media è riportata nella Tabella 5.1. In merito alla stratificazione, deve precisarsi che lo "sdoppiamento" della giacitura è da intendere come un effetto della tettonica locale. Nella Tabella 5.2 si riportano in modo schematico le principali risultanze emerse dalle singole stazioni.

Tabella 5.1 – Giacitura delle principali famiglie di discontinuità individuate.

	ORIENTA	ZIONE MEDIA
FAMIGLIA	IMMERSIONE	INCLINAZIONE
K1	172	76
K2	104	86
K3	242	80
K4	134	78
S'	023	28
S"	294	35
F	141	25



Fig. 5.2 - Ubicazione delle stazioni di misura.

Tra i parametri rilevati, le aperture sono risultate generalmente inferiori ai 10 mm; il riempimento è risultato, ove presente, incoerente. Per quanto riguarda i profili di



rugosità, essi ricadono, per lo più, nelle tipologie cinque, sei e sette (ISRM, 1978), a cui corrispondono valori di *JRC* compresi tra 8 e 14, mentre il numero di rimbalzi forniti dal martello di Schmidt è risultato compreso tra 12 e 50.

	Giacitura fronte						Giacit media	ura
STAZIONE	ІММ	INC	Stendimento	Lunghezza stendimento Numero discontinuità		Famiolie	IMM	INC
				8.00	30	k 1	167	82
			St 1 V	3,00	5	K2	282	82
			OL I V	0,00	0	K3	238	60
1	215	70				S'	21	24
			St 2 H	9.20	12	к1	173	66
			St 2 V	2,50	4	K2	285	71
				,		K4	144	79
						S'	39	24
2	220	80				F	141	25
			St 3 H	6,00	26	K1	172	80
			St 3 V	5,00	9	K2	275	84
						K3	243	81
						K4	319	82
3	220	70				S'	36	30
			St 4 H	6,00	21	K1	176	62
			St 4 V	2,50	6	K2	108	70
						K3	260	85
						K4	130	62
						S'	25	36
4	220	70				S"	294	35
			St 5 H	7,00	18	K1	185	69
			St 5 V	4,50	9	K2	97	87
						K3	251	83
5	200	70				S'	17	23
			St 6 H	7,40	13	K2	99	81
			St 6 V	2,00	4	K3	231	80
						K4	130	74
6	180	65				S'	28	40
			St 7 H	6,00	22	K2	111	78
			St 7 V	2,00	4	K3	248	82
						K4	125	85
7	170	70				S'	351	45

Tabella 5.2 – Dati essenziali relativi alle singole stazioni di misura.



# 5.3 Sintesi dei risultati

Al fine di individuare le tipologie di cinematismi potenzialmente attivabili lungo i fronti rocciosi sono stati eseguiti i principali *test* in uso, ovvero:

- Test di Goodman (Goodman & Shi, 1985)
- Test di Markland (Markland, 1972)
- Test di Matheson (Matheson, 1983).

I *test* (*Appendice C*), eseguiti su tutte le stazioni realizzate imponendo un valore di angolo di attrito delle discontinuità pari a 40° (Budetta & Calcaterra, 1991), hanno evidenziato come alcuni settori delle balze rocciose presentino situazioni critiche, a causa di possibili instabilità di blocchi mobilizzabili per scivolamenti e ribaltamenti.

La caratterizzazione geostrutturale dell'ammasso roccioso, e soprattutto la determinazione della spaziatura "*S*", ha consentito, inoltre, di definire le dimensioni medie dei volumi rocciosi isolati dall'intersezione delle discontinuità misurate. Il volume unitario, come noto, è un parametro indispensabile per le analisi di caduta dei blocchi (*§* 6) ed in particolare per la stima dell'altezza di rimbalzo e delle energie prodotte nei vari punti della traiettoria.

La stima del volume roccioso è stata effettuata avvalendosi della formula di Hudson & Priest (1979) per gli ammassi rocciosi caratterizzati dalla presenza di un numero di discontinuità pari a tre, e della formula di Palmstrøm (1995, 2000) per quelli con famiglie di discontinuità diverse da tre.

Le formule su menzionate hanno consentito di individuare come, nella maggior parte delle stazioni, i volumi instabili siano inferiori al metro cubo e solo occasionalmente raggiungano l'ordine di 2-4 m<sup>3</sup> (Tab. 5.3).

Tab. 5.3 - Stima dei volumi individuati dall'intersezione delle discontinuità per le diverse stazioni.

Stazione	Volumi secondo	Volumi rocciosi
di	Palmstrøm	unitari



misura	METODO DELLA MASSIMA LUNGHEZZA ASSIMILABILE A 4m (sovrastima)	METODO DELLE SPAZIATURE MASSIMA E MINIMA	METODO DELLE SPAZIATURE MASSIMA, MEDIA E MINIMA	(VRU) secondo Hudson & Priest (1979)
1	0,4	0,1	0,1	1
2	2,6	2,8	3,6	
3	0,2	0,1	0,1	
4	0,1	0,1	0,1	
5	0,4	0,2	0,2	3,0
6	1	0,6	0,6	
7	0,3	0,2	0,2	1,5

Nelle Figure 5.3 e 5.4 si sintetizzano i cinematismi individuati per ciascuna stazione.



Fig. 5.3 - Cinematismi attesi, suddivisi per famiglia di discontinuità (R = ribaltamento a blocchi, SP = scivolamento planare, SC = scivolamento a cuneo).





SP

Scivolamento planare



R

Ribaltamento

Fig. 5.4 - Cinematismi attesi e famiglie interessate dalle potenziali instabilità.



### 6. ANALISI DELLA CADUTA DI BLOCCHI

L'analisi della caduta di blocchi è stata effettuata con il codice *CRSP* (*Colorado Rockfall Simulation Program*) basato su di un metodo analitico, messo a punto presso la *Colorado School of Mines* da Pfeiffer & Bowen (1989a, b), ampiamente testato dalla comunità scientifica.

Il codice *CRSP* richiede i seguenti parametri d'ingresso:

- profilo del pendio, suddiviso in "celle";
- rugosità della superficie di ogni cella;
- coefficiente di restituzione, tangenziale e normale;
- forma e dimensione del blocco;
- punto di partenza e velocità iniziale del blocco.

Il modello prevede inoltre alcune semplificazioni. In primo luogo, la forma dei blocchi è ipotizzata sferica, cilindrica o discoidale con sezione circolare nel piano verticale del movimento; a tale piano si applicano l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale, introducendo, per quest'ultimo, un apposito fattore di scala.

L'impatto e la conseguente dissipazione dell'energia sono determinati utilizzando appositi coefficienti di restituzione (tangenziale e normale) e considerando un coefficiente che esprime la scabrezza del pendio. In tal modo il modello, che considera anche le dimensioni dei blocchi, risulta più realistico rispetto ad altri.

Il modello considera le combinazioni dei movimenti di caduta libera, di rimbalzo, di rotolamento e di scivolamento, che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

I coefficienti di restituzione utilizzati (Tab. 6.1), che dipendono dalle proprietà dei materiali costituenti il pendio e dal tipo di vegetazione, sono quelli suggeriti da Hoek (1987). In particolare, i suddetti coefficienti sono stati desunti considerando le caratteristiche dei diversi settori di versante interessati dalle traiettorie ipotizzate. In tal modo sono state riconosciute due diverse situazioni indicative dei valori dei relativi coefficienti:



- roccia (calcare);
- detrito vegetato.

Litologia	r <sub>n</sub>	r <sub>t</sub>	S
Roccia (calcare)	0,53	0,9	0,4
Detrito vegetato	0,32	0,8	0,5

Tab. 6.1 - Valori dei coefficienti di restituzione ( $r_n$ ,  $r_t$ ) e di rugosità (s) (Hoek, 1987).

Per la determinazione delle massime distanze percorse dai blocchi e dei parametri cinematici (altezza massima di rimbalzo, velocità ed energia di impatto) degli stessi blocchi in prossimità della strada, sono stati costruiti sei profili topografici (Fig. 6.1), considerati rappresentativi delle traiettorie percorse da blocchi svincolatisi da balze rocciose aventi quota compresa tra 645 e 710 m s.l.m.. Lungo tali profili sono state simulate, con un'analisi deterministica condotta su 50 lanci con il programma "*GEOROCK*" della *GeoStru srl*, le traiettorie ed i cinematismi di blocchi aventi volume massimo pari a 3.58 m<sup>3</sup> (come desunto dalle formulazioni di Palmstrøm) e peso di volume assunto pari a 2600 kg/m<sup>3</sup>.





Fig. 6.1 - Tracce dei profili utilizzati per l'analisi della caduta-blocchi.

Per ogni blocco, in linea con quanto suggerito dagli autori del codice *CRSP*, è stata considerata una velocità del moto pari a 1 m/s sia per la componente orizzontale che per quella verticale.

In tutte le simulazioni i blocchi oltrepassano la strada per Visciano, con valori di energia e di altezze di rimbalzo variabili da sezione a sezione, ma non raggiungono il centro abitato di Taurano.

In Tabella 6.2 si riportano le energie massime delle traiettorie in corrispondenza della strada per Visciano, mentre in *Appendice C* per ciascun profilo sono riportati:

- il grafico indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ogni ascissa individuata con un passo di scansione di 50 m;
- l'istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie in corrispondenza della strada per Visciano.

Profilo	Energia max (KJ) in corrispondenza della strada per Visciano
Profilo 1	4702
Profilo 2	2825
Profilo 3	4341
Profilo 4	3878
Profilo 5	3521
Profilo 6	3706

Tab. 6.2 - Energie massime delle traiettorie in corrispondenza dei profili di calcolo.



# 7. CRITERI D'INTERVENTO

Con riferimento alla classificazione di Cruden & Varnes (1996), i fenomeni franosi che interessano un versante roccioso possono essere ricondotti, come noto, alle seguenti tipologie (Fig. 7.1):

- scorrimenti lungo una discontinuità piana (rotture piane)
- scorrimenti lungo due o più discontinuità piane non parallele (rotture a cuneo)
- scorrimenti lungo superfici circolari, non coincidenti con discontinuità preesistenti
- ribaltamenti.



by steeply dispoing discontinuities.



Fig. 7.1 - Principali tipologie di frane in roccia e stereogrammi raffiguranti le condizioni geostrutturali favorevoli al loro innesco (Hoek & Bray, 1981).

Allorché l'attenzione è però posta non sul meccanismo d'innesco, quanto piuttosto sugli effetti più evidenti delle frane in roccia (transito ed invasione di blocchi mediante caduta libera, rotolamento, salti e rimbalzi), nel linguaggio tecnico corrente è invalso l'uso della generica espressione "caduta di massi" (o di blocchi).

Al pari di quanto avviene per la stabilizzazione di altre tipologie di frana, anche per i versanti in roccia vale la classica ripartizione tra *interventi attivi* e *passivi*. Nel caso delle frane in roccia, si considerano *attivi* quegli interventi che consentono la stabilizzazione in posto degli elementi lapidei, mentre gli interventi *passivi* mirano ad intercettare o deviare gli eventuali blocchi già in movimento.

Più in generale, la stabilità dei versanti in roccia si raggiunge intervenendo sui seguenti "agenti di stabilità" (Barla & Jarre, 1988; Giani, 1997; Peila & Oreste, 2001):

- geometria del versante;
- condizioni piezometriche;
- resistenza meccanica dell'ammasso roccioso.

Risultati altrettanto efficaci possono essere conseguiti mediante l'adozione di:

- sistemi di protezione passiva;
- sistemi di controllo strumentale.

	ALL MEN1	.EGGI To Si	ERI- CAVO		INTERVENTI DI RINFORZO									D	RENA	GGI0		CON	ITROI M	LLO ASSI	CADU	ТА	
TIPO DI Instabilita'	DIMINUZIONE ANGO- LO INCLINAZIONE	GRADONI	DISGAGGIO E RIPROFILATURA	SPRITZ-BETON	OPERE DI SOSTEGNO	INTERVENTI LOCALI		PARETI ANCORATE	FUNI	CHIODI	BULLONI	ANCORAGGI		DRENI SUPERFICIALI	PROTEZIONE SUPERFICI	FORI DRENANTI CORTI	FORI DRENANTI LUNGHI E GALLERIE	CAMBIARE UBICAZIONE	VALLI PROTETTIVI	RETI E MURI DI PROTEZIONE	RETI E FUNI IN PARETE	DISGAGGIO	
SCIVOLAMENTO PIANO (2D)	*	*	-				-	*			*	*	•	*	*	*		*	*	*			
														-2									
SCIVOLAMENTO DI CUNEO (3D)	*							*		*	*	*		*	*		*	*					
																-							
RIBALTAMENTO	*								j		*	*		*	*		*		*				
CADUTA MÁSSI E FE- NOMENI DI DISTACCO SUPERFICIALE	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*			*	*	*		*	*	*	*	*	31



Le principali tipologie d'intervento sono riportate nella Figura 7.2.

Fig. 7.2 - Metodi ed interventi di stabilizzazione per frane in roccia (da Fookes & Sweeney, 1976, in Barla & Jarre, 1988).

## 7.1 Interventi attivi

Negli interventi di difesa attivi possono essere inquadrate tutte quelle opere che impediscono il distacco degli elementi lapidei dal versante. Classificando tali opere in base al tipo di intervento che esplicano, possono riconoscersi:

- interventi che modificano la geometria del versante;
- interventi the modificano le condizioni piezometriche;
- interventi che modificano la resistenza meccanica dell'ammasso roccioso e/o applicano forze stabilizzanti;
- interventi che agiscono sulla superficie dell'ammasso per proteggerlo contro l'alterazione.

### 7.1.1 Variazioni della geometria del versante

L'obiettivo che ci si prefigge con una variazione di geometria di un pendio naturale o di un fronte di scavo è la riduzione delle forze instabilizzanti e/o l'eliminazione di volumi di roccia instabile. Tale obiettivo può essere raggiunto con interventi operativamente molto differenti tra loro e talora attuabili anche per fronti molto estesi, quali: riprofilatura di un versante, alleggerimento a monte, messa in opera di sovraccarichi a valle, disgaggio e/o rimozione di volumi rocciosi instabili.

Le <u>modellazioni geometriche</u> che si effettuano per stabilizzare un versante devono essere studiate in via preventiva in modo da assicurarsi, con analisi di stabilità, che siano complessivamente positivi gli effetti combinati di:

- riduzione delle forze instabilizzanti;

- riduzione dello sforzo normale sulle potenziali superfici di scorrimento.

Le variazioni di geometria possono interessare lo sviluppo planimetrico e/o il profilo del pendio sulla sezione trasversale e consistono in:

- variazione dell'orientazione del fronte;
- riduzione dell'altezza complessiva del fronte.



Per quanto riguarda l'orientazione del fronte, intervengono due parametri geometrici di progetto: la direzione e la curvatura dello sviluppo planimetrico. Nel ridurre l'altezza del fronte in roccia, in generale, fronti molto acclivi traggono notevole vantaggio da una riduzione dell'altezza totale, mentre pendii più dolci sono stabilizzabili con efficacia grazie alla riduzione dell'angolo globale. Questi interventi devono essere effettuati con scavi che procedono dall'alto verso il piede; le scelte devono pertanto tenere conto anche di alcuni problemi "di contorno", quali l'accessibilità del sito, l'esecuzione delle operazioni di scavo (uso di esplosivo, piste provvisorie, ecc.), la disponibilità di discariche. Anche a causa di questi problemi, e soprattutto per motivi di sicurezza, la riduzione dell'angolo globale del fronte è spesso ottenuta con la profilatura mediante gradoni.

La <u>gradonatura</u> del fronte di scavo consiste nella creazione di berme intermedie, che interrompono l'originario profilo del pendio in più banche. I parametri geometrici che devono essere definiti sono l'altezza e la larghezza del gradone. Di norma, la larghezza delle berme non è inferiore a 4-5 m; l'altezza, non superiore al doppio della larghezza.

Il <u>disgaggio e la rimozione di volumi rocciosi</u> di varia grandezza è un'operazione diretta di stabilizzazione della superficie dei fronti di scavo o naturali. Consiste nella rimozione di elementi instabili o potenzialmente instabili presenti in parete, al ciglio o raccoltisi sulle berme intermedie; la rimozione è eseguita manualmente o ricorrendo ad operazioni di abbattimento meccanico e talora con esplosivo. In ogni caso, si tratta di interventi caratteristici per la loro intermittenza, l'uso di personale altamente specializzato, la difficoltà di una valutazione preventiva di costi, tempi, sequenze esecutive.

L'<u>abbattimento con esplosivo</u> è, in taluni casi, una soluzione interessante, anche se un dimensionamento delle volate non adeguato può danneggiare ed instabilizzare l'ammasso retrostante. Si deve inoltre evidenziare come nella maggioranza dei casi, anche per grandi volumetrie, sia necessario dimensionare la volata in modo tale da abbattere l'intero volume in una sola volata. Si deve pertanto ricorrere ad un



abbattimento controllato secondo progetti dettagliati e con l'uso di agenti esplosivi adeguati.

### 7.1.2 Modifiche delle condizioni piezometriche

Gli interventi stabilizzanti rivolti alle condizioni piezometriche nei versanti possono consistere in un semplice controllo della quota piezometrica originaria oppure nell'abbattimento dei livelli piezometrici naturali. E' noto che la presenza di acqua di infiltrazione in un versante in roccia rappresenta sempre un fattore negativo per la stabilità, per cui il drenaggio ne migliora in ogni caso le condizioni statiche. Il problema progettuale che si pone è la quantificazione dell'incremento di stabilità conseguito in rapporto all'impegno richiesto.

I metodi utilizzati per controllare le condizioni piezometriche nei versanti in roccia sono:

- impermeabilizzazione e protezione della superficie esposta;
- drenaggio, mediante fori suborizzontali;
- drenaggio, mediante opere di grande diametro (perforazioni verticali, pozzi, trincee o gallerie sub orizzontali).

Il metodo più semplice ed economico per <u>impermeabilizzare e proteggere la</u> <u>superficie esposta</u> consiste nella raccolta e nell'allontanamento delle acque dal ciglio superiore del fronte e dalle superfici meno acclivi esposte per il riempimento e nella sigillatura delle fratture. L'infiltrazione attraverso le fratture subverticali (*tension cracks*) rappresenta infatti un elemento di notevole rischio, a causa delle alte pressioni interstiziali che possono essere generate entro il pendio.

Il metodo di <u>drenaggio</u> di uso più comune comporta l'esecuzione di <u>perforazioni</u> <u>suborizzontali</u>, leggermente inclinate verso l'alto (circa 5°), più o meno lunghe; entro il foro, di norma non rivestito, può essere inserito un tubo micro fessurato, in modo da garantire il funzionamento del drenaggio anche nel lungo termine. Il funzionamento di questi drenaggi è per semplice gravità.

La progettazione consiste nella definizione della geometria del sistema di fori drenanti. A questo proposito sono fondamentali le scelte circa:


 l'orientazione dei fori; è evidente che l'efficienza del dreno dipende dalla quantità di discontinuità potenzialmente sature intercettate dal foro;

 la lunghezza dei fori; è buona norma che questa sia tale da andare oltre la superficie potenziale di scorrimento più profonda, propria del volume roccioso che si intende stabilizzare;

 la posizione dei fori; se il versante è gradonato, spesso viene realizzata una cortina di fori su ciascuna berma; mentre è tecnologicamente vantaggioso disporre i fori secondo un ventaglio avente un unico centro di rotazione, la conseguente disposizione degli stessi fori è difficilmente ottimale.

Particolari che in sede di progettazione non devono essere trascurati sono l'accoppiamento del sistema di drenaggio con quello di protezione in superficie (ad esempio, con un manto in *spritz-beton*), il sistema di allontanamento delle acque dalle zone critiche del fronte, i provvedimenti utili a ridurre al massimo la necessità di manutenzione stagionale o annuale.

Tra le <u>opere di drenaggio di grande diametro</u>, i pozzi sono sistemi drenanti di grande efficacia ed elevato costo; essi richiedono, per la progettazione, una perfetta conoscenza delle condizioni geostrutturali dell'ammasso roccioso affinché l'opera risulti ben dimensionata. Si tratta per lo più di sistemi di difficile manutenzione ed incerta durevolezza.

Considerazioni analoghe valgono per le perforazioni verticali attrezzate con pompe, il cui uso più frequente è quello di porre sotto controllo le condizioni piezometriche del pendio, prima della esecuzione di scavi.

Trincee e gallerie drenanti costituiscono per lo più opere permanenti, anch'esse caratterizzate da alta efficienza ed elevato costo; hanno il vantaggio di poter intercettare un ampio numero di discontinuità nella roccia e di poter drenare per gravità.

#### 7.1.3 Modifiche della resistenza meccanica dell'ammasso roccioso

Il controllo di fenomeni locali di instabilità, quali lo scivolamento di volumi, o cunei rocciosi di non rilevante entità, può essere conseguito mediante opere di sostegno che agiscono alla superficie dell'ammasso roccioso.



Gli interventi che modificano la resistenza meccanica dell'ammasso roccioso e/o applicano forze sono:

- tiranti attivi in trefoli ed in barre d'acciaio;
- bulloni (eventualmente pretesi);
- chiodi in barre d'acciaio con barre in materiali di altro tipo interamente cementati e connessi alla massa rocciosa;
- legature;
- iniezioni di soluzioni cementizie o di resine;
- calcestruzzo spruzzato, semplice o fibrorinforzato;
- travi e colonne in calcestruzzo, eventualmente sottotirantate; sottomurazioni.

La progettazione di un intervento attivo con queste tecnologie è relativamente semplice quando si tratti di stabilizzare singoli blocchi o cunei isolati, di dimensioni non cospicue, con soluzioni quali bulloni o tiranti di ancoraggio. Gli approcci di calcolo che possono essere usati sono quelli dell'equilibrio limite oppure quelli numerici, per esempio i metodi ad elementi distinti. Il meccanismo di collasso a cui si deve fare riferimento è, in generale, lo scivolamento lungo discontinuità od il ribaltamento. La letteratura che descrive questi interventi molto ampia e vi si rimanda per una trattazione pin completa (es.: Hoek e Bray, 1981).

Nei caso di sottomurazioni in calcestruzzo armato e tirantate è necessario identificare i meccanismi di collasso degli elementi in roccia e l'azione stabilizzante degli elementi di sostegno che devono poi essere dimensionati sulla base delle spinte trasmesse dalla massa rocciosa.

In tutti i casi di interventi di questo tipo non si deve dimenticare nella progettazione le difficolta operative relative ai lavori acrobatici che pongono dei limiti sia alle possibili lunghezze di perforazione sia ai diametri ottenibili, a cui si può ovviare con la costruzione di imponenti e costosi ponteggi, anche sospesi.

#### 7.1.4 Protezione della superficie dell'ammasso dall'alterazione

Le opere di protezione dall'alterazione sono tipologie d'intervento estensivo per:



- porre l'infiltrazione ed il ruscellamento delle acque meteoriche sotto controllo con sistemi di:
  - o impermeabilizzazioni superficiali;
  - rivegetazione;
  - o costruzione di sistemi drenanti, di raccolta e smaltimento delle acque;
- impedire o limitare l'azione degli agenti esterni quali vento, pioggia, gelo tramite:
  - impermeabilizzazioni;
  - o protezione con manto naturale di vegetazione;
  - o protezione con manto artificiale (calcestruzzo proiettato);
- impedire l'innesco di fenomeni di rottura progressiva dalla superficie verso l'ammasso, con l'uso di:
  - reti ad anelli;
  - reti in aderenza a maglia esagonale, semplici od a doppia trazione, eventualmente rinforzate con reticolo di fune;
  - reti in aderenza in pannelli di fune, eventualmente rinforzate con reticolo di fune;
  - o calcestruzzo proiettato, semplice o fibrorinforzato;
  - chiodature diffuse;
  - o reti rivegetate.

L'uso di reti appoggiate che è sempre piu diffuso nella protezione dei versanti si scontra con l'assenza di linee progettuali in grado di indicare l'effettivo grado di miglioramento del fattore di sicurezza ottenuto con questi interventi. In particolare è di difficile definizione la lunghezza degli ancoraggi e l'interasse degli stessi nel caso si utilizzino delle funi incrociate di armatura. Analogamente, facendo riferimento alle varie tipologie di rete che è possibile adottare, generalmente la scelta non è basata su una progettazione geotecnica specifica ma sull'esperienza del progettista. Nella maggioranza dei casi, comunque, la funzione della rete è quella di guidare piccoli elementi in moto verso il piede del pendio; pertanto, è sempre presente un certo effetto dinamico che deve essere correttamente considerato nella progettazione.



# 7.2 Interventi passivi

Gli interventi di difesa passivi hanno lo scopo di intercettare, deviare o fermare elementi già in movimento. Rientrano in questa categoria:

- la riprofilatura del versante con la creazione di berme intermedie;
- l'installazione di reti paramassi, con diverse tecnologie di smorzamento dell'energia cinetica dei blocchi;
- muri di protezione;
- gallerie artificiali;
- trincee
- rilevati in terra (rinforzata o non rinforzata), scogliere, terra armata, muri cellulari.

In generale le opere passive sono di norma sistemate sui versanti in modo da intercettare la traiettoria dei blocchi in caduta; perciò, la definizione e previsione del possibile moto del blocco è un fattore molto importante nella fase di progettazione.

Le procedure analitiche per la descrizione matematica del fenomeno di caduta massi sono state studiate da molti ricercatori negli ultimi venti anni (es.: Barla & Jarre, 1988; Giani, 1997). In linea generale questi modelli matematici richiedono la conoscenza delle caratteristiche fisiche e geometriche del versante e del blocco. I fattori geometrici principali da conoscere sono la superficie topografica del versante e dimensioni e forma del blocco; i principali fattori fisici sono la velocità iniziale di caduta del blocco, i coefficienti di restituzione della superficie del versante (che descrivono la risposta all'impatto) ed i coefficienti di attrito.

Per queste ragioni, spesso i modelli di caduta massi sono calibrati tramite *back-analysis* di osservazioni fatte in sito, in modo da ricavare una distribuzione statistica atta a prevedere la più probabile traiettoria del blocco.

Quando la posizione migliore, l'altezza e l'energia cinetica da assorbire sono state determinate, si può passare alla scelta e progettazione della corretta struttura di intercettazione.

Diversi autori hanno sviluppato schemi progettuali per le <u>trincee</u>. Ritchie (1963), in particolare, ha sviluppato una serie di esperimenti in sito e ha pubblicato delle linee-



guida per la determinazione dei parametri geometrici del problema (altezza ed inclinazione del versante dal quale si staccano i blocchi, profondità e larghezza della trincea). Altri autori, tra cui Fookes & Sweeney (1976) hanno confermato i risultati di Ritchie.

I <u>rilevati paramassi</u> sono soluzioni normalmente utilizzate per la protezione di aree estese e per l'arresto di blocchi lapidei dotati di elevata energia cinetica. Possono essere realizzati in terra, semplicemente compattata o rinforzata, oppure con gabbionate, scogliere o muri cellulari. L'ingombro del rilevato, per questo tipo di opere, è una componente problematica, che può essere mitigata utilizzando rinforzi di vario tipo, in modo tale da poter aumentare la pendenza dei paramenti. Sebbene i rilevati paramassi siano comunemente utilizzati per la difesa dalla caduta-massi, non è ancora disponibile una normativa che ne definisca i requisiti fondamentali e ne delinei univocamente le linee di progettazione di base e, per quanto riguarda la ricerca scientifica in merito, si può affermare che questa si trovi ancora in uno stato embrionale.

La determinazione analitica degli effetti degli impatti di blocchi ad alta energia cinetica contro strutture in terra armata presenta notevoli difficoltà, legate soprattutto alle caratteristiche di non linearità del comportamento dei materiali e dei fenomeni deformativi connessi con l'evento, a cui si aggiungono le incertezze sul comportamento dinamico dei materiali utilizzati e sull'interazione terreno-rinforzi durante fenomeni impulsivi. Lo studio tramite modelli numerici agli elementi finiti richiede, d'altra parte, la taratura dei modelli tramite back-analysis di esperienze reali. È evidente perciò come la sperimentazione in vera grandezza risulti indispensabile la comprensione dei fenomeni che caratterizzano il per comportamento dei rilevati paramassi sottoposti a carichi di tipo impulsivo.

La protezione dalla caduta massi è spesso realizzata con <u>gallerie paramassi</u> in calcestruzzo, rivestite sulla sommità da un materiale in grado di dissipare l'energia cinetica del blocco, quale, ad esempio, sabbia fine. Recentemente sono state applicate delle strutture prefabbricate a mensola the presentano l'interessante vantaggio di non dover richiedere una realizzazione *in situ*.



Le <u>barriere paramassi a rete</u> presenti in commercio possono suddivise dal punto di vista tipologico in due categorie principali:

- barriere a limitata deformabilitá;
- barriere ad elevata deformabilità.

Le barriere a limitata deformabilità sono strutture progettate in modo da arrestare il blocco in movimento con ridotta deformazione (in campo prevalentemente elastico) degli elementi costituenti, in particolare funi e montanti. Le barriere deformabili sono invece progettate in modo da essere in grado di compiere un lavoro plastico con l'instaurarsi di deformazioni permanenti anche di grande entità, per bilanciare l'energia cinetica posseduta dal masso in caduta e quindi arrestarlo.

La barriera deve essere in grado di intercettare all'interno della superficie d'intercettazione (uguale al prodotto dell'altezza utile per la lunghezza utile) le traiettorie dei blocchi in moto sul versante.

L'arresto dei massi comporta che la barriera possa deformarsi, senza essere sfondata né presentare varchi, compiendo un lavoro elastico e plastico di entità pari all'energia posseduta dai massi.

In generale, comunque, l'unico parametro in grado di descrivere in modo riassuntivo il comportamento di una barriera paramassi è legato all'energia che questa è in grado di dissipare in condizioni di sicurezza. Questo valore può però essere verificato e determinato solo con prove in vera grandezza.

Una barriera paramassi a rete deve essere formata da uno o più moduli funzionali identici posti in sequenza, che permettono di adeguare la lunghezza della barriera al sito ed all'opera da proteggere. Ciascun modulo funzionale deve consentire l'agevole sostituzione eventuale di ogni componente e la sostituzione di un elemento danneggiato della barriera, senza smontare completamente la barriera e l'adattamento della struttura al profilo del terreno ed un facile montaggio in cantiere.

## 7.3 Monitoraggio della caduta-massi

I sistemi di controllo strumentale della caduta-massi si differenziano essenzialmente per la fase in cui intervengono; si possono infatti suddividere in:



- sistemi premonitori e/o di allerta circa eventi potenziali;
- sistemi di segnalazione di eventi avvenuti.

I primi consistono in reti di strumentazione per la misura di indici indiretti di instabilità, quali lo spostamento reciproco di volumi rocciosi, e/o l'emissione acustica loro connessa. Queste reti, spesso costose e di difficile manutenzione, sono attuabili se lo studio geomeccanico ha consentito di individuare con precisione la zona d'origine della caduta-massi e le modalità di distacco e caduta dei blocchi. Soltanto quando si conoscono anche correlazioni tra i valori di soglia delle grandezze misurate ed il fenomeno di caduta-massi è possibile integrare queste reti entro un sistema di allarme. In generale si deve rilevare che queste strumentazioni hanno prevalentemente la funzione di contribuire alla comprensione completa del fenomeno per la definizione più corretta dei parametri geotecnici coinvolti e quindi per una migliore progettazione.

I sistemi di segnalazione di eventi avvenuti sono utilizzati più che altro nelle zone dove il fenomeno di caduta-massi è ricorrente e lungo vie di trasporto, dove non si teme tanto l'impatto contro i veicoli, quanto piuttosto la presenza di massi lungo l'arteria viaria. In passato si è fatto ricorso, più che altro, all'esame visivo della linea, da parte di appositi "controllori"; oggigiorno si fa spesso ricorso a cavi o reti elettricamente attive, o ad altri sistemi (circuiti video, ecc.), la cui ubicazione e manutenzione sono il principale problema di progettazione.



## 8. LINEE-GUIDA PER LO STUDIO DI VERSANTI IN ROCCIA

Lo studio sull'area-campione di Taurano è stato eseguito attraverso una procedura essenziale, basata su rilievi di campo (geologico-geomorfologici, geostrutturali e geomeccanici) e su analisi di stabilità. Tale procedura non deve però intendersi come esaustiva allorché si possa disporre di risorse e tempi idonei per definire in ogni suo aspetto la propensione all'instabilità di un versante in roccia. In tali circostanze, infatti, possono sussistere condizioni favorevoli ad un maggiore approfondimento conoscitivo, il che a sua volta consente l'adozione di ulteriori metodologie d'indagine, non trattate analiticamente in questa sede.

Ad esempio, per quanto concerne i rilievi di campo, in aree dove si sono già verificati fenomeni d'instabilità, posono rinvenirsi blocchi franati, la cui posizione può essere utilizzata per impostare delle *back-analysis* sulle possibili traiettorie seguite dai blocchi stessi, ottenendo in tal modo preziose informazioni sui vari parametri caratteristici del moto del blocco (es.: coefficienti di restituzione). Inoltre, in funzione dell'accessibilità dei luoghi, per i rilievi geostrutturali e geomeccanici è talora indispensabile il ricorso a geologi-rocciatori, esperti in tecniche alpinistiche di progressione su corda. In altri casi, soprattutto quando sia inevitabile il ricorso ad opere di protezione dalla caduta-blocchi (es.: barriere deformabili, reti paramassi, ecc.) sono di estrema utilità le risultanze di campi sperimentali in cui sia simulata "dal vero" la caduta di un blocco. Anche in questi casi, infatti, si ottengono utili informazioni sulla cinematica del fenomeno, oltre a potersi meglio definire le caratteristiche dimensionali delle opere in progetto.

Tra le tecniche strumentali di rilievo topografico a supporto di studi di versanti in roccia, nel corso degli anni si sono rivelati di estrema utilità i rilievi basati sulla metodologia *laser scanner* e sulla fotogrammetria terrestre o da elicottero. Tali rilievi, in condizioni ottimali, possono rappresentare un utile supporto all'individuazione dei principali lineamenti mesostrutturali caratterizzanti il versante.

La tecnica utilizzata per la restituzione fotogrammetrica di versanti ad alta acclività è quella stereoscopica e permette di orientare i fotogrammi in modo tale da ricostruire il



modello in 3D. Quando i versanti sono di elevata altezza, non è possibile realizzare il rilievo fotografico da terra, sia per un problema di distanza che di inclinazione della camera rispetto alla parete. In tali condizioni, il rilievo deve essere eseguito da elicottero in modo da effettuare delle vere e proprie strisciate fotografiche ortogonali ai fronti, finalizzate alla successiva elaborazione fotogrammetrica. Il rilievo topografico è eseguito mediante stazione totale elettronica con registrazione automatica dei dati. Si utilizza quindi un restitutore fotogrammetrico digitale che consente di ottenere la visione stereoscopica dei fotogrammi direttamente sul *monitor* del *computer*. Dopo gli orientamenti delle coppie stereoscopiche, si ottiene un modello tridimensionale in scala reale grazie all'utilizzo dei punti a coordinate note rilevati in sito, e si procede, in tal modo, alla successiva fase di restituzione fotogrammetrica ricalcando con polilinee il modello 3D. La restituzione è realizzata a "fogli" di lavoro sovrapposti, ciascuno con informazioni indipendenti. La morfologia dei versanti sarà rappresentata con curve di livello. Il *file* di uscita è di tipo vettoriale e quindi intercambiabile con qualsiasi programma di grafica.

Il *laser scanner* è uno strumento di rilievo tridimensionale ad alta precisione. La tecnica consiste nel dirigere un raggio di luce laser polarizzata sulla superficie in studio. Il "pennello" di luce scorre su tutta la superficie e ne cattura, punto per punto, le tre coordinate spaziali e le caratteristiche di colore e riflettività alla velocità di migliaia di rilevamenti al secondo. Il dato diretto fornito da un sistema laser a scansione, al termine della sessione di misura, è un insieme di coordinate tridimensionali di un numero elevatissimo di punti, una "nuvola di punti" che descrive la superficie dell'oggetto e anche di tutto ciò che compare nel campo di vista dello strumento. Una volta predeterminate le posizioni da cui effettuare le scansioni, si procede al posizionamento dei "*target*" di riferimento che saranno poi utili nell'unificazione delle singole scansioni. Si realizza così una banca-dati di coordinate 3D, colore e riflettività del soggetto priva di zone d'ombra e riflessioni anomale. Il ricalcolo automatico in tempo reale dell'immagine tridimensionale (plastico virtuale) permette infatti di vedere l'oggetto da ogni direzione, consente di sezionarlo a qualunque livello ed in qualunque direzione, evidenziando i dettagli morfologici più piccoli.

autorità di bacino

Tali rilievi geometrici (*laser scanner* e *fotogrammetria terrestre o da elicottero*) sono un utile supporto su cui basare i successivi rilevi geologici, geomorfologici, geostrutturali e geomeccanici (rappresentazione cartografica dei vari tematismi su DTM o mappe a curve di livello orizzontali) e progettuali (calcolo dell'estensione delle superfici da sottoporre a consolidamento; costruzione di profili topografici di elevata precisione; individuazione dell'assetto meso-strutturale del versante). Per i suddetti rilievi di campo, come già accennato in precedenza, è opportuno ribadire che, considerate le peculiarità delle analisi geostrutturali e geomeccaniche, è indispensabile avvalersi di geologi esperti e, nel caso in cui la logistica lo imponga, di geologi-rocciatori.

In definitiva, in virtù delle considerazioni sin qui svolte ed alla luce della cospicua letteratura di settore, è possibile identificare una procedura di studio integrata, d'impostazione geologico-geotecnica, finalizzata alala valutazione della suscettibilità per frane in ammassi rocciosi, basata su alcune fasi salienti, di seguito elencate:

• <u>Acquisizione di una cartografia di dettaglio (1:1000/2000), di foto aeree e di</u> <u>eventuali ortofoto</u>

Per condurre in modo approfondito lo studio geologico, finalizzato alla ricostruzione del quadro litostratigrafico e morfoevolutivo dell'area, è necessario disporre di una cartografia aggiornata e di estremo dettaglio sia delle aree di versante che della zona urbanizzata pedemontana.

Molto utili possono essere fotografie aeree od ortofotocarte di scala adeguata.

## • Indagine bibliografica e d'archivio

Tale indagine è finalizzata alla ricostruzione di eventuali fenomeni d'instabilità già accaduti nell'area di studio o in aree limitrofe.

## • Esecuzione di un rilievo fotogrammetrico o con tecnica laser-scanner

I rilievi basati sulla metodologia *laser scanner* e/o sulla fotogrammetria (terrestre o da elicottero), in condizioni ottimali, rappresentano un utile supporto sia per l'individuazione dei principali lineamenti mesostrutturali caratterizzanti il versante, che per la restituzione dei rilevi geologici,



geomorfologici, geostrutturali e geomeccanici (rappresentazione cartografica dei vari tematismi su DTM o mappe a curve di livello orizzontali) e progettuali (calcolo dell'estensione delle superfici da sottoporre a consolidamento; costruzione di profili topografici di elevata precisione; individuazione dell'assetto mesostrutturale del versante).

## • Rilevamento geologico e geomorfologico

Utilizzando come base la cartografia di dettaglio ed i rilievi fotogrammetrici e/o *laser-scanner* di cui ai punti precedenti, deve essere preliminarmente ricostruito il modello geologico del versante, comprendente gli aspetti geostrutturali, geomorfologici ed idrogeologici. Dovranno pertanto essere redatte, in genere ad una scala non inferiore ad 1:5000, le Carte geotematiche di base previste dal PAI (C. geolitologica, C. delle coperture, C. geomorfologica).

Particolare attenzione sarà prestata al rilievo di eventuali blocchi franati, testimoni di pregressi eventi d'instabilità, utli nella successiva fase di analisi delle traiettorie in termini di *back-*analysis.

## • Rilevamento geostrutturale e geomeccanico

Le finalità di questa fase di studio sono: l'individuazione dei blocchi in precarie condizioni statiche; l'analisi dei possibili meccanismi cinematici dei blocchi; la valutazione delle principali caratteristiche meccaniche della formazione rocciosa, in vista della successiva classificazione tecnica degli ammassi.

I rilievi saranno eseguiti da geologi esperti che investigheranno i settori più significativi del versante scelto come area di studio. Nel caso di rilievi in parete, sarà opportuno il ricorso a geologi-rocciatori, esperti in tecniche alpinistiche di progressione su corda. La strumentazione utilizzata per eseguire i rilievi geomeccanici in roccia deve comprendere almeno: martello di Schmidt; pettine di Barton; bussola di Clar; idonea strumentazione fotografica. Le aree-campione dove saranno eseguiti i rilievi geomeccanici di dettaglio saranno scelte in funzione delle seguenti caratteristiche: estensione significativa degli



affioramenti; siti caratterizzati da superfici di discontinuità ad alta persistenza e con blocchi in precarie condizioni statiche; accessibilità dei fronti; presenza di manufatti o infrastrutture alla base delle pareti.

Dopo aver eseguito i suddeti rilievi, l'ammasso roccioso sarà suddiviso in ambiti omogenei dal punto di vista geostrutturale e geomeccanico, su ognuno dei quali sarà eseguita l'elaborazione dei dati geostrutturali con una verifica finale dei meccanismi di rottura. Tale verifica potrà essere condotta con almeno uno degli usuali *test* disponibili in letteratura (es.: Goodman, Markland, Matheson).

Le discontinuità rilevate saranno descritte secondo quanto previsto dalla normativa ISRM (1978). I dati giaciturali registrati per le discontinuità saranno elaborati con programmi di *cluster analysis*, al fine di individuare i principali sistemi di discontinuità.

## • <u>Classificazione degli ammassi rocciosi</u>

La conoscenza della classe di qualità a cui appartiene un ammasso roccioso è utile per valutare la sua predisposizione a fenomeni di instabilità. I vari sistemi di classificazione si basano sull'esame di alcuni parametri, scelti in modo da fornire un giudizio il più possibile completo sulle caratteristiche dell'ammasso. Tra i metodi generali di classificazione, i più utilizzati sono l'RMR di Bieniawski (1973 e seguenti – cfr. bibliografia) ed il Q di Barton (Barton et al., 1974).

La preliminare stima della qualità dell'ammaso roccioso può essere ulteriormente implementata, in termini di suscettibilità areale all'innesco di frane in roccia, attraverso la definizione di classi di stabilità. A tal fine può utilizzarsi il metodo SMR (Romana, 1985, 1988, 1991), che, come noto, rappresenta un'evoluzione dell'originario RMR. In alternativa, si segnala il *Rock Engineering Systems* (Hudson, 1992), un "sistema esperto" affermatosi negli ultimi anni con valide applicazioni anche a casi italiani, che offre il notevole vantaggio di potersi adattare, di volta in volta, allo specifico problema.

• Simulazione della caduta blocchi

autorità di bacino

Una volta definita la propensione all'instabilità dell'ammasso, è possibile ipotizzare le traiettorie di caduta di singoli blocchi, con l'obiettivo di delimitare le aree suscettibili d'invasione. La modellazione può essere eseguita, in 2D od in 3D, con appositi programmi disponibili in commercio, selezionando profili, ricavati dal modello digitale del terreno, ritenuti tecnicamente significativi. Particolare attenzione dovrà essere posta alla definizione del cosiddetto "blocco di progetto" e dei vari coefficienti che regolano la discesa del blocco stesso lungo il pendio (coefficienti di restituzione normale, tangenziale e di attrito; angolo limite).

I risultati ottenuti dovranno essere calibrati e confrontati, in *back-analysis*, con l'evntuale presenza di blocchi già franati e di falde di detrito.

Qualora, in sede di progettazione degli interventi, si optasse per soluzioni di tipo passivo (es.: barriere, trincee, rilevati, ecc.), l'analisi delle traiettorie e del potenziale d'invasione dei blocchi in movimento dovrà essere ripetuta, previa interposizione virtuale delle suddette opere.

## • Sintesi dei dati raccolti ed allestimento degli elaborati conclusivi

Al termine delle attività di cui ai punti precedenti, si allestirà una Relazione geologica e geotecnica conclusiva a supporto della progettazione delle opere di mitigazione, che si configura come "studio di compatibilità geologica", secondo le previsioni del PAI. Tale Relazione dovrà essere corredata, oltre che dagli elaborati rappresentativi delle singole fasi di studio prima elencate, anche da una Carta di suscettibilità al'innesco-transito ed invasione per frane in roccia, derivante dalle analisi di cui ai punti precedenti (caratterizzazione degli ammassi roccisi ai fini della valutazione della suscettibilità all'innesco di frane; valutazione del potenziale d'invasione da caduta-massi). Saranno altresì fornite le opportune indicazioni tipologiche per la scelta ed il dimensionamento degli interventi di stabilizzazione e/o protezione relativamente al fenomeno della caduta-massi.



# 9. BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 2002. *Studi di dettaglio in aree campione.* Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.
- Autorità di Bacino Nord Occidentale della Campania, 2009. *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, aggiornamento 2009*.
- Barla G., Jarre P., 1988. *Progettazione geotecnica degli interventi*. Atti II Ciclo di Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce, MIR, Torino, 13.1-13.32
- Barton N.R., Lien R., Lunde J., 1974. *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. Rock Mech. 6(4): 189-239.
- Bieniawski Z.T., 1973. *Engineering classification of jointed rock masses*. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs., 15: 335-344.
- Bieniawski Z.T., 1974. *Geomechanics Classification of rock masses and its application in tunneling*. Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Cong. on Rock Mechanics, vol. 2A, 27-32, Denver.
- Bieniawski Z.T., 1976. *Rock mass classification in rock engineering*. Proc. Symp. on Explor. for Rock Eng., Johannesburg, vol. 1, 97-106, Balkema, Rotterdam.
- Bieniawski Z.T., 1978. *Determining rock mass deformability. Experience from case histories.* Int. Journ. Rock Mechanics and Mining Sciences, 15: 237-248.
- Bieniawski Z.T., 1979. *The geomechanics classification in rock engineering applications*. Proc. 4<sup>th</sup> Int. Congr. on Rock Mechanics, vol. 2, 51-58, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Bieniawski Z.T., 1984. *Rock mechanics design in mining and tunneling*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Bieniawski Z.T., 1989. *Engineering rock mass classifications*. J. Wiley & Sons, New York.
- Bonardi G., D'Argenio B., Perrone V., 1988. *Carta geologica dell'Appennino Meridionale in scala 1:250.000.* Mem. Soc. Geol. It., 41.
- Brancaccio L., Cinque A., 1988. *L'evoluzione geomorfologica dell'Appennino campano-lucano*. Mem. Soc. Geol. It., 41: 83-86.
- Budetta P., Calcaterra D., 1991. *Caratteristiche di resistenza al taglio di discontinuità in ammassi carbonatici della Penisola Sorrentina (Campania)*. Atti I Conv. Naz. Giovani Ricercatori Geol. Appl., Gargnano (BS), 22-23 ottobre 1991. In "Ricerca scientifica ed educazione permanente", Suppl. 93:167-176.
- Budetta P., Calcaterra D., Ducci D., 1991. *Caratterizzazione geomeccanica di ammassi rocciosi carbonatici tra Castellammare di Stabia e Vico Equense (Penisola Sorrentina Campania)*. Geologia Tecnica, 3/91:13-22.
- Budetta P., de Riso R., 1988. *Studio delle condizioni di stabilità di alcuni versanti in roccia nell'Appennino campano*. Mem. Soc. Geol. It., 41:917-927.
- Budetta P., Santo A., 1994. *Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania (Southern Italy): a case study*. Engineering Geology, 36: 197-210.



- Cruden D.M., Varnes D.J. 1996. *Landslide types and processes*. In Turner A.K., Schuster R.L. (eds.), *Landslides: investigation and mitigation*. Nat. Res. Counc., Transp. Res. Board Sp. Rep. 247: 36-75.
- Fookes P.G., Sweeney M., 1976. *Stabilization and control of local rockfalls and degrading rock slopes*. Quart. J. Engng. Geol., 9: 37-55.
- Giani G.P., 1997. *Caduta di massi*. Hevelius edizioni, Benevento.
- Goodman R.E., Shi G.H., 1985. *Block theory and its application to Rock Engineering*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Hoek E., 1987. *Rockfall A program in BASIC for the analysis of rockfalls from slope*. Unpublished notes, Golder Associates/University of Toronto.
- Hoek E., Bray J.W., 1981. *Rock slope engineering*. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hudson J.A., 1992. *Rock Engineering Systems: Theory and Practice*. New York, Ellis Horwood.
- Hudson J.A., Priest S.D, 1979. *Discontinuities and rock mass geometry*. International Journal on Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanics, 16: 339-362.
- I.S.R.M., Commission on standardization of laboratory and field tests, 1978. *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.* Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abs., 15: 319-368.
- Markland J.T., 1972. *A useful tecnique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected*. Imperial College Rock Mechanics Res. Report, 19: 1-10.
- Matheson G.D., 1983. *The collection and use of field discontinuity data in rock slope design*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 22.
- Palma B. *Studio geologico ed interventi di mitigazione del rischio per le frane in formazioni lapidee: il caso studio del M.te Vico Alvano in Penisola Sorrentina*. In preparazione.
- Palmstrøm A., 1995. *RMi a rock mass characterization system for rock engeneering purposes*. Dissertation for the degree Doctor Scientiarum, University of Oslo, Norvegia.
- Palmstrøm A., 2000. *Block size and block size distribution*. GeoEng2000, Workshop on Reliability of classification systems, Melbourne, Australia.
- Peila D., Oreste P.P., 2001. *Interventi di difesa contro la caduta di massi*. Atti Convegno Internazionale su "Opere di difesa da caduta massi", Siusi (BZ), 25-40.
- Pfeiffer T., Bowen T., 1989a. *Colorado Rockfall Simulation Program*. Colorado School of Mines, U.S. Department of Trasportation Federal Highway Administration, Final Report.
- Pfeiffer T., Bowen T., 1989b. *Computer Simulation of Rockfalls*. Association of Engineering Geologists Bulletin, 26:117-126.



- Romana Ruiz M., 1985. *New adjustment ratings for application of Beniawski classification to slopes*. Proc. Int. Symp. on "The role of rock mechanics", Zacatecas, 49-53.
- Romana Ruiz M., 1988. *Practice of SMR classification for slope appraisal*. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Symp. on Landslide, Lausanne, 2: 1227-1232, Balkema, Rotterdam.
- Romana Ruiz, M. 1991. *SMR classification*. Proc. 7<sup>th</sup> Int. Cong. on Rock Mech., Aachen, 955-960, Balkema, Rotterdam.
- Ritchie A., 1963, *The evaluation of rockfall and its control*. Highways Record, 17: 13-28.



**APPENDICE A** 



			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 1 H			1	FRONTE	DIR. N120 SW 70	IMM. 215/70	LUNGH.	8 m	<del></del>
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO		INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)		SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
	0,00	J	160	80	1,90	U-X	7	0		A	
2	0,35	J	272	80	1,05	U-X	1	0		A	
3	0,41	J	172	02	0,30	x-u	0	0		A	
4	0,50	J	173	85	2,20	U-X	7	5			
5	0,77	J	160	85	0,80	0-0	1	0		A	A
6	0,78	J	274	82	0,45	d-d	6	10	P		A
/	0,87	J	275	80	1,80	d-x	6	10	5		A
8	1,00	J	180	80	2,80	d-x	6	0	Р	A	A
9	1,10	J	285	82	1,00	d-d	6	0	<u>P</u>	A	A
10	1,40	S	14	25			5	1	P		A
11	1,70	J	160	78	1,40	d-x	7	2	Р		A
12	1,90	J	167	85	4,00	x-d	7	20	P		A
13	2,46	J	158	78	3,00	d-x	7	10	P		A
14	3,10	J	163	77	2,50	d-x	6	2	0		A
15	3,92	J	289	88	0,80	d-x	8	0	P	A	A
16	3,94	J	158	85	3,00	d-x	7	3	P		A
17	4,42	J	286	76	0,80	d-x	7	0	0	A	Α
18	4,50	J	115	82	0,85	d-x	7	0	0	A	Α
19	4,50	J	172	88	0,85	d-x	6	0	Р	A	Α
20	4,65	S	15	30			5	2	Р		Α
21	4,90	J	155	85	3,50	d-x	6	1	0	A	A
22	5,10	J	180	85	4,00	X-X	8	0	0	A	A
23	5,20	J	270	80	3,00	d-x	7	0	Р	A	A
24	6,23	J	270	76	3,50	X-X	8	1	0	I	Α
25	6,45	J	294	62	3,50	X-X	8	0	Р	A	Α
26	6,60	S	35	20			9	1	0		Α
27	6.74	J	280	82	1.00	d-d	8	0	Р	A	A
28	7.18	J	155	80	4.00	X-X	7	5	0		A
29	7.70	J	173	75	3.00	x-d	7	3	P		A
30	8,00	J	173	80	2,00	x-d	7	13	P		A
TIPO		PERSISTENZA			SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	t'
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia		D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente			S = stillicidio	
<b>k</b> – –	-		-		<b>-</b>		-	-		V = venute	

52





			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 1 V			FRONTE	•			LUNGH.	3 m	-
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,34	S	15	30			5	1	Р	I	Α
2	0,54	J	115	85	1,30	d-d	7	2	0	I	А
3	1,35	S	10	25			5	1	Р	I	А
4	1,75	S	23	18			4	1	Р	I	А
5	2,05	S	28	25			5	2	Р	I	А
6	3,00	J	238	60	1,00	d-x	7	0	0	A	A
TIPO		PERSISTENZA			SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia	1	D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente	_		S = stillicidio	
										V = venute	



SCHMIDT								TA	URANO S	St 1 H							
														Orient	azione scler	ometro	
													Verse	o basso	Vers	o alto	
	Giacitura	a discontinuità															
Progressiva	IMM	INCL					Lettura	impulsi		-90°	-45°	+90°	+45°	Orizzontale			
0,00	180	80	22	20	36	22	30	32	19	24	25	26					Х
0,87	275	80	23	30	23	36	30	14	32	14	18	22					Х
1,40	14	25	42	47	46	41	48	14	36	40	41	36			Х		
3,92	289	88	24	31	37	43	14	29	23	22	20	26					Х
4,50	115	82	22	20	16	18	25	24	16	16	14	16					Х
6,45	294	62	30	40	24	23	21	38	19	31	33	29					Х



	STENDIMENTO	TAURANO St 2 H			FRONTE	DIR N 130 SW 80	IMM 220/80		LUNGH.	9,20 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	45	40			5	1	Р	Α	А
2	0,82	J	158	78	1,60	d-d	5	1	0	А	Α
3	2,40	J	195	70	1,50	d-x	6	0	Р	А	Α
4	2,50	S	30	20			6	2	Р	Ι	Α
5	2,90	J	275	60	2,00	d-x	7	0	Р	А	Α
6	3,75	J	142	70	3,00	d-x	7	10	Р	С	Α
7	4,90	F	148	30	2,00	dd	6	5	0	Ι	Α
8	4,90	J	165	50	2,00	dd	7	5	0	Ι	Α
9	5,90	F	130	20	6,00	x-x	5	1	Р	Ι	Α
10	7,40	J	145	88	1,50	x-d	8	0	Р	А	Α
11	8,70	J	175	70	2,50	x-x	6	0	Р	А	Α
12	9,20	J	294	82	2,30	r-x	6	2	Р	Ι	Α
		PERSISTENZA			SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	
TIPO		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
S = strato		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
J = joint		D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente	J		S = stillicidio	
F = faglia										V = venute	



	STENDIMENTO	TAURANO St 2 V			FRONTE				LUNGH	2 50 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	40	15			4	2	Р	А	Α
2	0,60	S	30	15			5	2	Р	Ι	Α
3	1,40	S	40	30			7	1	Р	А	Α
4	2,00	S	40	25			2	0	Р	А	Α
							_				
TIPO		PERSISTENZA			SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO		l	ACQUA	
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia	J	D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente			S = stillicidio	
										V = venute	



SCHMIDT								TA	URANO S	st 2 H							
														Orient	tazione scler	ometro	
													Verso	basso	Vers	o alto	
	Giacitur	a discontinuità															
Progressiva	IMM	INCL					Lettura	impulsi					-90°	-45°	+90°	+45°	Orizzontale
0,00	45	40	38 38 32 37 36 36 33 34 20   20 21 19 16 18 29 12 24 18													Х	
0,82	158	78	20 21 19 16 18 29 12 24 18											Х			
2,50	30	20	14	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$												Х	
2,90	275	60	16	22	12	12	14	22	14	21	12	14		Х			
5,90	130	20	14	29	14	16	23	25	12	12	17	12		Х			



			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 3 H		1	FRONTE	DIR N 125 W-SW 70	IMM 220/70	r	LUNGH.	6 m	<del></del>
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	J	190	60	3,00	X-X	6	6	Р	A	A
2	0,70	S	40	25			5	1	Р	I	A
3	0,75	J	68	80	1,60	d-d	6	0	0	A	A
4	1,05	J	158	85	2,00	d-x	6	0	0	A	Α
5	1,30	J	190	80	2,00	d-d	5	0	Р	A	Α
6	1,38	J	115	85	2,00	d-d	5	5	Р	Ι	Α
7	1,60	J	94	87	1,60	d-x	7	3	Р	Ι	А
8	1,70	J	178	82	2,00	d-d	6	5	Ο	Ι	Α
9	1,80	J	244	81	1,40	X-X	7	1	Р	Ι	Α
10	2,00	J	253	78	2,00	d-d	7	0	Р	А	Α
11	2,50	J	190	88	2,00	d-d	7	10	Р	Ι	Α
12	3,10	J	172	85	2,00	d-d	5	5	Р	Ι	Α
13	3,20	J	247	70	1,50	x-d	7	0	Р	А	А
14	3,45	J	158	87	2,00	d-d	5	4	Р	Ι	Α
15	3,50	J	265	80	2,00	d-d	6	10	Р	Ι	А
16	3,60	J	168	85	2,00	d-d	6	30	0	Ι	А
17	3,65	S	35	40			4	1	Р	Ι	А
18	3,70	J	192	85	6,00	d-d	6	2	Р	Ι	А
19	3,85	J	228	80	1,80	d-d	5	50	Р	I	Α
20	4,20	J	240	75	1,20	X-X	7	0	Р	А	Α
21	4,30	J	150	82	1,50	d-x	5	10	Р	Ι	Α
22	4,40	J	315	80	1,00	d-x	6	10	Р	I	Α
23	4,70	J	325	82	1,60	d-d	5	50	Р	I	Α
24	4,96	J	316	85	1,60	d-x	6	50	Р	Ι	Α
25	5,40	J	170	75	1,60	d-d	6	30	Р	Ι	Α
26	6,00	J	168	67	1,00	d-d	5	0	0	А	Α
TIPO		PERSISTENZA		-	SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	1
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = ioint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia		D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente			S = stillicidio	
<u> </u>	-	<b>-</b>			R		•	4		V = venute	

59





			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 3 V	-		FRONTE				LUNGH.	5 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	28	35			5	0	Р	А	Α
2	0,40	J	160	80	1,50	x-d	6	20	Р	Ι	Α
3	1,50	S	35	25			5	5	Р	Ι	Α
4	2,30	J	265	70	1,00	d-x	6	0	Р	А	Α
5	2,90	S	35	25			5	1	Р	Ι	Α
6	3,00	J	170	88	6,00	х-х	7	20	Р	Ι	А
7	3,10	S	35	25			5	0	Р	Α	Α
8	3,40	S	35	25			5	0	Р	А	Α
9	4,20	S	45	38			5	0	Р	А	Α
TIPO		PERSISTENZA			SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia		D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente	J		S = stillicidio	
										V = venute	



SCHMIDT		1						TA	URANO S	St 3 H							
														Orient	azione scler	ometro	
													Verso	basso	Vers	o alto	
	Giacitura	discontinuità															
Progressiva	IMM	INCL					Lettura	impulsi		-90°	-45°	+90°	+45°	Orizzontale			
3,10	172	85	29	28	32	32	26	28	26	26	42	25					Х
3,65	35	40	34	22	27	30	26	23	31	26	19	39	Х				
3,70	192	85	34	38	28	35	41	37	38	35	41	39					Х
4,20	240	75	36	31	31	40	41	30	35	35	42	30		Х			
4,70	325	82	40	35	30	20	32	32	29	31	20	19		Х			



			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 4 H			FRONTE	DIR N 110 SW 70	IMM 220/70	1	LUNGH.	6 m	<b></b>
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	60	35			6	20	Р	Ι	А
2	0,60	J	108	85	1,40	d-x	6	6	Р	Ι	Α
3	1,00	J	158	70	1,00	d-d	6	30	Р	C	Α
4	1,30	J	130	55	1,00	d-d	7	0	Р	А	Α
5	1,50	J	130	55	0,80	d-d	7	3	Р	С	Α
6	1,80	S	31	38			5	1	Р	Ι	Α
7	1,80	J	100	60	1,20	d-d	7	2	Р	C	Α
8	1,82	J	195	60	1,00	d-d	7	0	Р	А	Α
9	2,20	J	195	60	1,20	d-d	7	10	Р	C	Α
10	2,20	S	305	35			5	1	Р	А	А
11	2,30	J	157	60	1,20	d-d	7	20	Р	C	Α
12	2,75	S	305	38			5	0	Р	А	А
13	2,85	J	115	65	4,50	х-х	7	200	Р	Ι	Α
14	3,00	J	125	60	1,00	d-d	7	2	Р	А	Α
15	3,45	J	135	78	3,50	d-x	7	2	Р	С	А
16	4,20	J	175	65	4,00	d-x	7	0	Р	А	А
17	4,70	J	260	85	0,60	d-d	7	2	Р	Ι	А
18	5,10	S	295	40			5	1	Р	Ι	А
19	5,35	S	295	38			5	2	Р	Ι	А
20	5,60	J	180	65	2,20	d-x	7	2	Р	Ι	А
21	6,00	S	350	45			5	1	Р	Ι	Α
ТІРО	<b></b>					FORMA					
S - strate		Y = non visibile									
J = ioint					1 - 115010	0 = ondulata	C = assence				(
5 – joint E – faglia		R - loccia			10 – may scab	S - segmentato	L = incoerento			S = stillicidio	
i – iayila	1		<b>_</b>		TO - Max Scap.	o - segmentata		4			



			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 4 V			FRONTE				LUNGH.	2.50 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	295	35			6	0	Р	А	Α
2	0,60	J	158	70	1,00	d-d	7	30	Р	C	Α
3	0,60	S	295	35			6	2	Р	Ι	Α
4	0,80	S	295	35			6	1	Р	Ι	Α
5	1,40	S	285	35			5	0	Р	А	Α
6	1,40	J	108	85	1,40	d-x	6	6	Р	Ι	Α
7	1,65	S	285	30			5	2	Р	Ι	Α
8	2,05	S	285	30			5	0	Р	А	Α
							ł – – – – – – – – – – – – – – – – – – –				
			4	]							
TIPO		PERSISTENZA			SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia	l	D = discontinuità	4		10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente	1		S = stillicidio	
										V = venute	



SCHMIDT								TA	AURANO S	st 4 H							
														Orient	tazione scler	ometro	
													Verso	basso	Vers	o alto	
	Giacitura	i discontinuità															
Progressiva	IMM	INCL					Lettura		-90°	-45°	+90°	+45°	Orizzontale				
0,60	108	85	20	36	14	26	36	32	14	48	14	26					Х
1,30	130	55	28	20	24	32	22	22	20	44	32	20				Х	
2,20	195	60	27	32	14	32	18	12	14	15	14	18		Х			
2,20	305	35	12	15	12	16	30	24	34	29	23	30				Х	
4,70	260	85	37	19	18	20	21	38	40	39	34	20					Х
6,00	350	45	48	45	43	50	47	50	42	30	36	45				Х	





			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 5 H	r	1	FRONTE	DIR N 110 S-SW 70	IMM 200/70	1	LUNGH.	7,00 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	15	28			7	20	Р	Ι	Α
2	0,02	J	255	80	1,00	d-d	6	10	Р	Ι	Α
3	0,25	J	300	85	0,80	d-d	6	10	Р	Ι	Α
4	0,75	J	95	75	1,00	d-d	6	2	0	Ι	Α
5	1,30	J	170	70	0,60	d-d	9	50	Р	Ι	Α
6	2,20	J	265	65	1,00	d-d	7	50	Р	Ι	Α
7	2,50	J	75	85	0,80	d-d	5	20	Р	Ι	Α
8	2,60	J	200	70	0,80	d-x	5	0	Р	А	Α
9	3,10	J	100	75	1,00	d-x	5	2	Р	Ι	А
10	3,20	J	100	75	1,00	d-x	5	3	Р	Ι	А
11	3,35	J	100	75	1,00	d-x	5	2	Р	Ι	А
12	4,35	J	280	70	1,20	d-d	6	10	Р	Ι	А
13	5,35	J	95	85	0,60	x-d	5	50	Р	Ι	А
14	5,60	J	250	88	0,60	d-d	6	0	Р	Α	А
15	6,00	J	260	75	1,80	d-d	6	20	0	Ι	А
16	6,10	J	235	75	1,80	d-d	6	15	Р	Ι	А
17	6,25	J	85	85	1,90	d-d	7	30	Р	Ι	А
18	7,00	J	90	80	0,80	d-d	5	10	Р	Ι	Α
TIPO		PERSISTENZA			SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia		D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente			S = stillicidio	
	-		-			•		-		V = venute	



			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 5 V			FRONTE		LUNGH.	4,5			
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	18	15			7	0	Р	А	Α
2	0,80	S	15	20			7	20	Р	Ι	Α
3	1,15	S	5	30			7	2	Р	Ι	Α
4	1,75	S	30	15			5	0	Р	А	Α
5	2,45	S	18	25			5	0	Р	А	Α
6	2,45	J	100	88	2,00	d-d	6	2	Р	Ι	А
7	3,10	S	18	25			5	0	Р	Α	Α
8	3,50	S	20	25			5	2	Р	Ι	Α
9	4,50	S	20	25			5	0	Р	А	А
TIPO		PERSISTENZA		•	SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia		D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente			S = stillicidio	
	-		_					-		V = venute	



SCHMIDT		TAURANO St 5 H																	
															Orientazione sclerometro				
														Verso basso		Verso alto			
	Giacitura	discontinuità															1		
Progressiva	IMM	INCL					Lettura	impulsi					-90°	-45°	+90°	+45°	Orizzontale		
0,00	15	28	30	15	36	38	33	29	14	20	25	16	Х						
6,25	85	85	32	14	28	24	29	26	29	39	34	42					Х		




			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 6 H			FRONTE	DIR E-W	IMM 180/65		LUNGH.	7,40 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,80	J	225	85	1,6	x-d	7	20	Р	Ι	Α
2	1,20	J	235	85	1,50	х-х	7	100	Р	Ι	Α
3	1,60	J	275	85	1,00	х-х	7	2	S	Ι	Α
4	1,70	J	215	80	1,00	х-х	7	2	Р	Ι	Α
5	2,10	J	220	70	1,50	х-х	6	80	Р	Ι	Α
6	2,20	J	230	85	1,20	r-x	6	1	S	А	Α
7	2,90	J	255	80	1,00	х-х	7	0	S	А	Α
8	3,10	J	130	60	1,50	х-х	7	0	Р	А	Α
9	3,80	J	100	60	1,20	d-x	6	0	Р	А	Α
10	4,90	J	235	75	2,00	d-x	7	0	Р	А	А
11	6,60	J	90	78	0,40	r-d	7	10	0	Ι	А
12	7,10	J	290	88	0,50	r-d	7	5	Р	А	Α
13	7,40	J	130	88	1,80	d-x	7	0	Р	А	Α
TIPO S = strato J = joint F = faglia		PERSISTENZA X = non visibile R = roccia D = discontinuità		1	SCABREZZA 1 = liscia 10 = max scab.	FORMA P = piana O = ondulata S = segmentata	RIEMPIMENTO A = assente C = coesivo I = incoerente		<u> </u>	ACQUA A = asciutto U = umido S = stillicidio	



			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 6 V			FRONTE	1			LUNGH.	2 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	25	40			6	0	Р	А	Α
2	1,00	S	35	40			6	0	Р	А	Α
3	1,80	S	25	40			6	0	Р	А	Α
4	1,90	J	230	80	1,00	d-x	7	3	Р	Ι	Α
TIPO		PERSISTENZA			SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO			ACQUA	
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia		D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente			S = stillicidio	
	_							_		V = venute	



SCHMIDT			TAURANO St 6 H														
													Orientazione sclerometro				
									Verso	o basso	Vers	o alto					
	Giacitura	a discontinuità	scontinuità													1	
Progressiva	IMM	INCL					Lettura	impulsi					-90°	-45°	+90°	+45°	Orizzontale
	238	85	48	44	26	46	50	44	40	45	50	35					Х
	100	60	35	41	26	30	35	34	43	33	26	34		Х			
	25	40	19	31	29	38	37	28	37	39	40	35		Х			



			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 7 H		-	FRONTE	DIR E-W	IMM 170/70		LUNGH.	6,00 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	J	120	80	0,6	х-х	7	10	S	I	Α
2	0,25	J	125	85	1,50	x-d	7	3	Р	Ι	Α
3	0,50	J	115	80	1,50	d-d	7	2	Р	Ι	Α
4	0,57	J	90	80	1,10	d-d	7	5	Р	Ι	Α
5	0,65	J	115	75	1,00	r-d	6	5	Р	Ι	Α
6	0,75	J	105	80	1,10	x-d	6	2	Р	Ι	Α
7	0,90	J	105	70	1,60	d-d	7	0	Р	Α	Α
8	1,40	J	245	80	1,80	d-d	8	30	Р	Ι	Α
9	1,65	J	90	85	1,00	d-d	6	2	Р	Ι	Α
10	1,80	J	110	75	0,80	d-x	8	0	Р	А	Α
11	2,20	J	250	85	1,20	d-x	8	50	Р	Ι	Α
12	2,35	J	250	80	0,50	d-d	8	10	Р	Ι	Α
13	3,00	J	120	80	2,00	d-d	7	200	Р	Ι	А
14	3,40	J	115	75	1,80	d-d	8	20	Р	Ι	Α
15	3,90	J	115	75	2,00	d-x	8	0	Р	А	Α
16	4,00	J	118	80	1,80	х-х	8	20	Р	Ι	Α
17	4,10	J	117	82	1,20	r-x	7	0	Р	А	А
18	4,30	J	115	75	1,50	d-x	8	0	Р	А	Α
19	4,60	J	113	78	1,60	d-x	8	30	Р	Ι	Α
20	4,90	J	116	80	1,50	d-x	8	20	Р	Ι	А
21	5,1	J	118	75	1,8	d-x	7	25	Р	I	Α
22	6	J	95	80	1,6	d-x	7	0	Р	А	А
TIPO S = strato J = joint F = faglia		PERSISTEN X = non visib R = roccia D = discontir	I ZA ille Iuità	ł	SCABREZZA 1 = liscia 10 = max scab.	FORMA P = piana O = ondulata S = segmentata	RIEMPIMENTO A = assente C = coesivo I = incoerente			ACQUA A = asciutto U = umido S = stillicidio	



			TAURANO								
	STENDIMENTO	St 7 V			FRONTE		1	1	LUNGH.	2 m	
NUMERO	PROGRESSIVA (m)	TIPO	IMMERSIONE	INCLINAZIONE	LUNGHEZZA (m)	PERSISTENZA	SCABREZZA	APERTURA (mm)	FORMA	RIEMPIMENTO	ACQUA
1	0,00	S	340	45			7	1	Р	А	Α
2	0,40	S	5	45			7	1	Р	А	Α
3	1,00	S	355	50			7	1	Р	А	Α
4	1,80	S	345	40			7	1	Р	А	Α
TIPO		PERSISTENZA		•	SCABREZZA	FORMA	RIEMPIMENTO		•	ACQUA	
S = strato		X = non visibile			1 = liscia	P = piana	A = assente			A = asciutto	
J = joint		R = roccia				O = ondulata	C = coesivo			U = umido	
F = faglia		D = discontinuità			10 = max scab.	S = segmentata	I = incoerente			S = stillicidio	
	-		_					-		V = venute	



SCHMIDT			TAURANO St 7 H																	
		•											Orientazione sclerometro							
													Verso	Verso basso Verso alto		o alto				
	Giacitur	a discontinuità																		
Progressiva	IMM	INCL					Lettura	impulsi					-90°	-45°	+90°	+45°	Orizzontale			
	95	80	29	36	20	25	31	12	26	35	32	28					Х			



# Diagrammi relativi all'elaborazione della principali caratteristiche delle discontinuità rilevate nelle stazioni geomeccaniche.



Tipologie di discontinuità individuate nelle stazioni. I joints rappresentano il 72% delle discontinuità mentre il 27% è costituito da giunti di strato. Solo l' 1% delle discontinuità è costituito da faglie.



Azimut di immersione delle discontinuità.

Le classi maggiormente rappresentate sono la E-SE, la S-SE, la N-NE, la W-NW e la W-SW, che rappresentano il 86% delle discontinuità; il restante 14% è suddiviso tra le classi S-SW, E-NE e N-NW.





Inclinazione delle discontinuità.

Il 70% delle discontinuità esaminate appartengono alle classi "sub-verticale" e "molto inclinata", mentre il restante 30% è suddiviso tra le classi "inclinata", "mediamente inclinata", "poco inclinata".



Persistenza delle discontinuità.

Le discontinuità appartenenti alla classe di persistenza "bassa" e "molto bassa" rappresentano il 93% delle discontinuità, mentre il restante 7% appartiene alla classe "media".







Le classi V, VI e VII sono le più rappresentate, con una percentuale complessiva dell'88%, mentre le classi IV, VIII e IX sono rappresentate con una percentuale del 12%.





Alla classe "molto stretta" appartiene il 33 % delle discontinuità, alla classe "parzialmente aperta" il 29% ed alla classe "larga" il 21%. Il restante 17 % delle discontinuità appartiene alle classi "moderatamente larga", "aperta" e "molto larga".





Forma delle discontinuità

Le discontinuità esaminate sono per il 86% di forma piana, per l'11% di forma ondulata mentre per il 3% di forma segmentata.



## **APPENDICE B**















































autorità di bacino



















S' S=0,35

S" S=NP







**APPENDICE C** 



#### STAZIONE ST1 Test di Goodman







Test di Matheson











### Test di Markland





STAZIONE ST2 Test di Goodman











#### Test di Matheson












#### STAZIONE ST3 Test di Goodman























STAZIONE ST4 Test di Goodman









Test di Matheson















#### STAZIONE ST5 Test di Goodman















Test di Markland







#### STAZIONE ST6 Test di Goodman























STAZIONE ST7 Test di Goodman

























**APPENDICE D** 





Sezione corrispondente al profilo 1 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 50 m.



Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 1 in corrispondenza della strada per Visciano.





Sezione corrispondente al profilo 2 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 50 m.



Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 2 in corrispondenza della strada per Visciano.





Sezione corrispondente al profilo 3 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 50 m.



Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 3 in corrispondenza della strada per Visciano.





Sezione corrispondente al profilo 4 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 50 m.



Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 4 in corrispondenza della strada per Visciano.




Sezione corrispondente al profilo 5 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 50 m.



Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 5 in corrispondenza della strada per Visciano.



Sezione corrispondente al profilo 6 indicante la percentuale di massi intercettati in corrispondenza di ascisse individuate con un passo di scansione di 50 m.



Istogramma di distribuzione dell'energia delle traiettorie individuate nel profilo 6 in corrispondenza della strada per Visciano.