

**AUTORITA' DI BACINO REGIONALE**

---

***PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO  
IDROGEOLOGICO***

*Attività conoscitive propedeutiche alla  
redazione della documentazione relativa alla  
valutazione del rischio da frana (L.183/89 e  
226/99)*

---

**SPECIFICHE TECNICHE PER I  
PENDII IN ROCCIA**

Fisciano, 20.03.00

Nr. Rif. Aut. Bac. 99

**1. Introduzione**

**2. Rilievo fotogrammetrico**

**3. Rilievo delle discontinuità con tecniche fotogrammetriche**

**4. Rilievi geomeccanici in parete eseguiti da personale specializzato**

**5. Interpretazione dei risultati e definizione del modello geo-meccanico dell'ammasso**

**6. Modalità di presentazione dei risultati**

**7. Analisi di stabilità di pendii in roccia**

**Bibliografia**

## 1. Introduzione

Le analisi di stabilità dei costoni rocciosi e dei singoli blocchi, da svolgere secondo le modalità indicate nelle Specifiche Tecniche per le Analisi di Stabilità e nel presente documento, richiedono, per essere realmente significative, rilievi di dettaglio finalizzati a individuare e delimitare:

- a scala di versante, le aree omogenee caratterizzate da particolari disposizioni spaziali delle discontinuità primarie che trovano riscontro a livello morfostrutturale in termini di tratti elementari di versante caratterizzati da particolari aspetti morfometrici. A tale scopo è indispensabile una cartografia di insieme, di elevato dettaglio, che consenta restituzioni prospettiche e planimetriche, a curve di livello, ad una scala di rappresentazione pari o inferiore a 1:500.
- all'interno delle aree definite al punto precedente, zone omogenee nell'ambito delle quali si riscontrano particolari condizioni dello stato di fratturazione di ordine inferiore. A tale fine, si rende indispensabile eseguire un rilievo aerofotogrammetrico affiancato da prese fotografiche da terra.

Nel seguito, pertanto, ci si soffermerà sulle tecniche di rilievo, che comunque dovranno consentire un dettaglio topografico ed una restituzione a curve di livello, planimetrica e prospettica, almeno alla scala 1:200.

Si forniscono altresì elementi sul calcolo della traiettoria di caduta di singoli blocchi e sul loro contenuto energetico al momento dell'impatto su strutture preesistenti o su opere appositamente realizzate a scopi preventivi.

## 2. Rilievo fotogrammetrico

Il rilievo fotogrammetrico deve essere preceduto dal progetto delle prese fotografiche tramite il quale si calcolano il numero di fotogrammi da scattare, la relativa scala fotografica e la conseguente scala di restituzione in funzione della distanza di presa<sup>1</sup> e della focale della camera, che determina l'angolo di apertura dell'obbiettivo.

Con questi elementi, poi, si potrà procedere al calcolo del numero di punti topografici necessari per coprire le coppie stereoscopiche e per conoscere in anticipo come effettuare i rilievi topografico e fotografico.

Terminata la fase teorica si potrà passare a quella operativa in sito, a partire dal rilievo fotografico.

I fotogrammi utilizzati per una restituzione fotogrammetrica dovranno avere precise caratteristiche metriche e quindi dovranno essere ripresi con una camera digitale semimetrica di elevata definizione (del tipo E2N), munita di relativo certificato di calibrazione. In tale certificato, rilasciato dalla ditta costruttrice, devono essere riportati i parametri di correzione della distorsione ottica e le coordinate delle marche fiduciali.

Tutti questi valori saranno utilizzati dal software di restituzione fotogrammetrica per correggere le deformazioni del fotogramma che quindi acquisirà validità metrica.

Per ottenere dal rilievo fotogrammetrico tutte le informazioni geometriche nelle tre dimensioni dello spazio sarà necessario utilizzare un metodo stereoscopico che permette di orientare i fotogrammi in modo tale da ricostruire il modello in 3D. A tal fine sarà necessario disporre di coppie di foto stereoscopiche, ovvero di foto che inquadrano una porzione comune della parete, scattate da punti diversi, ad esempio da sinistra e da destra dell'oggetto da rilevare. Tali fotogrammi dovranno inoltre avere:

- la stessa distanza di presa,
- gli assi della camera paralleli tra loro ed ortogonali all'oggetto.

---

<sup>1</sup> Per distanza di presa si intende la distanza che intercorre tra l'oggetto da rilevare e la camera fotografica.

La parte di sovrapposizione, di solito il 60%, dei due fotogrammi, così ottenuti, è detta coppia stereoscopica; solo in questa porzione comune si potrà osservare la terza dimensione, dopo opportune manipolazioni.

Per evidenziare sulla restituzione fotogrammetrica, oltre la geometria nelle tre dimensioni dello spazio, il quadro di discontinuità, lo stato di degrado, i vari strati costituenti, ecc., si dovranno necessariamente effettuare foto abbastanza dettagliate e quindi da una distanza relativamente vicina all'oggetto. Ciò potrà essere realizzato da terra, da mare o da elicottero, in funzione della morfologia dei luoghi.

Oltre ai fotogrammi occorrono le coordinate topografiche di alcuni punti noti.

Si dovrà effettuare, quindi, il rilievo topografico, che consisterà nel collimare con lo strumento topografico alcuni punti materializzati sulla parete con segnali naturali o artificiali, ovvero delle particolarità naturali dei costoni o dei punti evidenziati in sito con mire (dischi cartacei bianchi e neri), applicate da rocciatori.

Le collimazioni dei punti verranno effettuate mediante l'uso di strumentazioni topografiche del tipo stazioni totali.

Si otterranno in tal modo le coordinate X,Y,Z dei punti battuti rispetto al sistema di riferimento relativo scelto.

Per la restituzione fotogrammetrica dovrà essere adottato un sistema digitale, in grado di gestire i fotogrammi in formato raster. Effettuati gli orientamenti di rito delle coppie stereoscopiche si otterrà un modello tridimensionale in scala reale grazie all'utilizzo dei punti a coordinate note rilevati in sito, e si procederà, così, alla successiva fase di restituzione fotogrammetrica ricalcando con poli-linee il modello 3D. E' auspicabile che il prodotto della restituzione sia realizzato a "fogli" di lavoro sovrapposti, ciascuno con informazioni indipendenti, utilizzando vari colori e varie tipologie di linee in modo da poter effettuare carte tematiche utili agli scopi preposti e cioè ottenere un elaborato di facile lettura.

Il file di uscita dovrà essere di tipo vettoriale, con estensione DXF e quindi intercambiabile con qualsiasi programma di grafica tipo AutoCad.

Le elaborazioni saranno completati dall'ortofoto che consiste nell'immagine digitale dell'oggetto rilevato proiettata sul modello numerico tridimensionale proveniente dalla restituzione. Si ottiene, così, un vera e propria immagine tridimensionale in scala sulla

quale oltre ad effettuare numerazioni geometriche è possibile effettuare anche studi morfologici dell'oggetto stesso per via informatica.

### **3. Rilievo delle discontinuità con tecniche fotogrammetriche**

Completata la restituzione geometrica del fronte roccioso saranno selezionate sui fotogrammi le discontinuità che, per persistenza ed apertura, risulteranno chiaramente distinguibili.

Sulla traccia di tali discontinuità (ovvero la loro intersezione col fronte roccioso) saranno selezionati vari punti (di solito 5) dei quali saranno lette le coordinate rispetto agli assi di riferimento della restituzione. Fra tali punti si inserirà un piano, con la tecnica della regressione, del quale risulterà nota l'equazione nel riferimento cartesiano adottato; quindi di esso saranno immediatamente calcolabili i dati di orientazione (azimut ed inclinazione).

I dati ottenuti con tale tecnica consentiranno di ubicare ciascuna discontinuità rilevata nel riferimento adottato; ciò costituisce un notevole avanzamento rispetto alle tecniche tradizionali che invece non forniscono la posizione assoluta della singola discontinuità rilevata sul fronte.

L'analisi contestuale dei fotogrammi e della geometria della parete, su cui saranno riportate le discontinuità rilevate, consentirà di individuare le zone nelle quali eseguire i rilievi in parete. Tali zone dovranno essere rappresentative di parti ben più ampie del fronte.

#### **4. Rilievi geomeccanici in parete eseguiti da personale specializzato**

Nelle aree degli approfondimenti dovranno essere eseguiti rilievi geomeccanici in parete. Essi comprenderanno:

- la materializzazione in parete di linee di campionamento la cui ubicazione e lunghezza (L) sarà fissata dalla D.L.; ciascuna linea definirà una zona di parete di forma rettangolare e di dimensioni L (m) x 5 (m), in cui saranno eseguiti i rilievi descritti ai punti seguenti;
- la descrizione delle discontinuità e della roccia limitrofa: grado di alterazione della roccia, segnalazione di ponti di roccia e di materiale di riempimento;
- la misura della giacitura delle discontinuità (azimut ed inclinazione), eseguite con bussola di Clar;
- la misura dell'apertura delle discontinuità;
- la misura della spaziatura e della persistenza delle discontinuità;
- il rilievo dell'andamento dei profili, mediante profilometro;
- l'andamento dei contatti tettonici e stratigrafici tra diversi litotipi;
- la segnalazione e descrizione dei fenomeni di dissesto.



## **5. Interpretazione dei risultati e definizione del modello geo-meccanico dell'ammasso**

I risultati ottenuti dalle fasi di indagini descritte ai punti precedenti dovranno essere sintetizzati in un modello geo-meccanico dell'ammasso. Esso dovrà comprendere:

- l'individuazione delle famiglie di discontinuità presenti in parete, tramite l'elaborazione dell'intera messe dei dati di orientazione;
- l'ubicazione assoluta delle discontinuità di maggiore persistenza, rilevate con la tecnica fotogrammetrica;
- l'individuazione dei blocchi realmente isolati e di quelli potenzialmente tali;
- l'individuazione dei cinematismi ammissibili dei blocchi isolati;
- la suddivisione della parete in zone omogenee per caratteristiche geometriche, morfologiche, grado e tipo di fratturazione;
- i meccanismi di dissesto più probabili per ciascuna zona omogenea della parete;
- le caratteristiche di resistenza dell'ammasso ed in particolare delle discontinuità;

## **6. Modalità di presentazione dei risultati**

Al termine delle indagini e della fase di interpretazione, dovranno essere prodotti i seguenti elaborati:

- tabelle dei dati rilevati in sito: giaciture delle discontinuità, spaziatura, persistenza, apertura, regolarità dei giunti, eventuale riempimento;
- rappresentazione a curve di livello della geometria del costone; nel piano del foglio sarà rappresentato il prospetto del fronte in scala adeguata (almeno 1:500), le curve di livello indicheranno i luoghi dei punti di uguale distanza da un virtuale piano verticale di riferimento;
- rappresentazione sul prospetto del fronte delle discontinuità rilevate dai fotogrammi stereoscopici mediante le rispettive tracce, con indicazione dei dati di orientazione delle giaciture;
- ortofoto, ovvero rappresentazione dei fotogrammi sulla restituzione geometrica del fronte con segnalazione dei dissesti avvenuti;
- diagrammi polari delle orientazioni delle discontinuità, con raggruppamento in famiglie;
- elaborazioni sui diagrammi polari per l'individuazione dei cinematismi ammissibili.

Tutti i dati di cui agli elaborati precedenti saranno forniti anche su supporto informatico.

## 7. Analisi di stabilità di pendii in roccia

Tutto quanto descritto ai punti precedenti costituisce la base per lo studio della stabilità dell'intero ammasso roccioso o di sue parti (singoli blocchi potenzialmente instabili).

Per quanto riguarda il primo tipo di studio, esso riguarda il volume lapideo costituito da uno o più litotipi, in genere suddiviso in blocchi da superfici di discontinuità (o di separazione) caratterizzate da una resistenza a trazione molto bassa o nulla. Negli ammassi a struttura orientata le discontinuità sono caratterizzate da un numero limitato di giaciture e possono essere raggruppate in insiemi, detti famiglie, costituiti da superfici parallele o sub-parallele.

Se le tensioni dovute al peso proprio o ai carichi applicati sono modeste in relazione alla resistenza della roccia, le deformazioni di quest'ultima sono trascurabili; inoltre non si propagano fratture attraverso il materiale intatto. In tali condizioni l'ammasso può essere considerato come un complesso di blocchi rigidi interagenti e la stabilità delle sue pareti è funzione dell'orientazione, della geometria e delle caratteristiche di resistenza delle discontinuità.

Una volta definita la sagoma dei blocchi e le loro possibilità cinematiche, è possibile ipotizzare un meccanismo di rottura e, note le caratteristiche di resistenza delle discontinuità, determinare le condizioni di sicurezza in analogia a quanto già riportato nelle "Specifiche Tecniche delle Analisi di Stabilità", a cui si rimanda.

Con riferimento, invece, al problema della traiettoria di caduta di singoli blocchi da pareti in roccia e della valutazione del loro contenuto energetico al momento dell'impatto su strutture preesistenti o appositamente realizzate per la protezione, in letteratura tecnica e scientifica è possibile trovare diversi metodi che differiscono per le ipotesi su cui vengono basati.

Il modello più semplice è definito metodo *lumped mass*, in quanto considera il blocco puntiforme e la massa concentrata nel punto. Tali metodi analitici sono stati sviluppati sia per l'analisi del moto di caduta di un blocco che è contenuto sia in una sezione verticale, sia in campo tridimensionale (Piteau & Clayton, 1977; Azimi et al., 1982; Spang, 1987; Hungr & Evans, 1988; Scioldo, 1991). A questi metodi hanno fatto seguito altri, sempre di tipo analitico in quanto descrivono le equazioni del moto, i quali

fanno riferimento a blocchi di forma ellissoidale, cilindrica o sferica (Bozzolo & Pamini, 1982; Pfeiffer & Bowen, 1989); a differenza dei precedenti, detti metodi consentono di determinare i momenti rotazionali e traslazionali che si generano negli impatti.

A questi metodi analitici si sono nel tempo affiancati metodi di tipo numerico come il DDA (Discontinuous Deformation Analysis) inizialmente proposto da Shi (1989), che possono essere utilizzati per studiare il movimento di singolo blocco nell'ambito del comportamento meccanico di un sistema di blocchi.

## Bibliografia

Azimi C., Desvarreaux P., Giraud A. & Martin Cocher J. (1982). Methodes de calcule de la dynamique des chutes de blocs. Application à l'étude du versant de la montagne de la Pale (Vercors). Bulletin de Liason des LPC, 122, pp. 93-102

Bozzolo, D. & Pamini, R. (1982). Modello matematico per lo studio delle cadute massi. Laboratorio di Fisica Terrestre, ICTS, Lugano, pp. 1-80

Cundall, M.D. Voegele & C. Fairhurst, in Design methods in rocks mechanics, Proc. 16<sup>th</sup> Symp. On Rock Mechanics, Univ. Of Minesota, Minneapolis, ASCE, pp. 62-63

Hungr O. & Evans S.G. (1988). Notes on dynamic analysis of flow slides. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Symp. On Landslides, Lausanne, pp. 685-690

Pfeiffer T. & Bowen, T. (1989). Computer simulation of rockfalls. Association of Eng. Geol. Bulletin, vol. XXVI, n. 1, pp. 135-146

Piteau, D.R. & Clayton, R. (1977). Discussion of paper "Computerized design of rock slope using interactive graphics for the input and output of geoemtrical data. By P.A.

Scioldo, G. (1991). ROTOMAP: analisi statistica del rotolamento dei massi. Guida Informatica Ambientale, Patron, Milano, pp. 81-84

Shi, G. H. (1989). Block system modeling by Discontinuous Deformation Analysis. Dept. Of Civil Eng. Univ. of California, Berkeley.

Spang, R. M. (1987). Protection against rockfall – Stepchild in the design of rock slope. Proc. 6<sup>th</sup> Int. Conf. On Rock Mechanics, Montreal, vol. 1, pp. 551-557