



Regione Campania
Autorità di Bacino Regionale Destra Sele



***LINEE GUIDA PER LO STUDIO DI COSTONI
ROCCIOSI SUBVERTICALI***

Dr.ssa geol.
Moretta Filomena

Dr.geol.
Minotta Crescenzo

Dr.geol.
Lombardi Gerardo



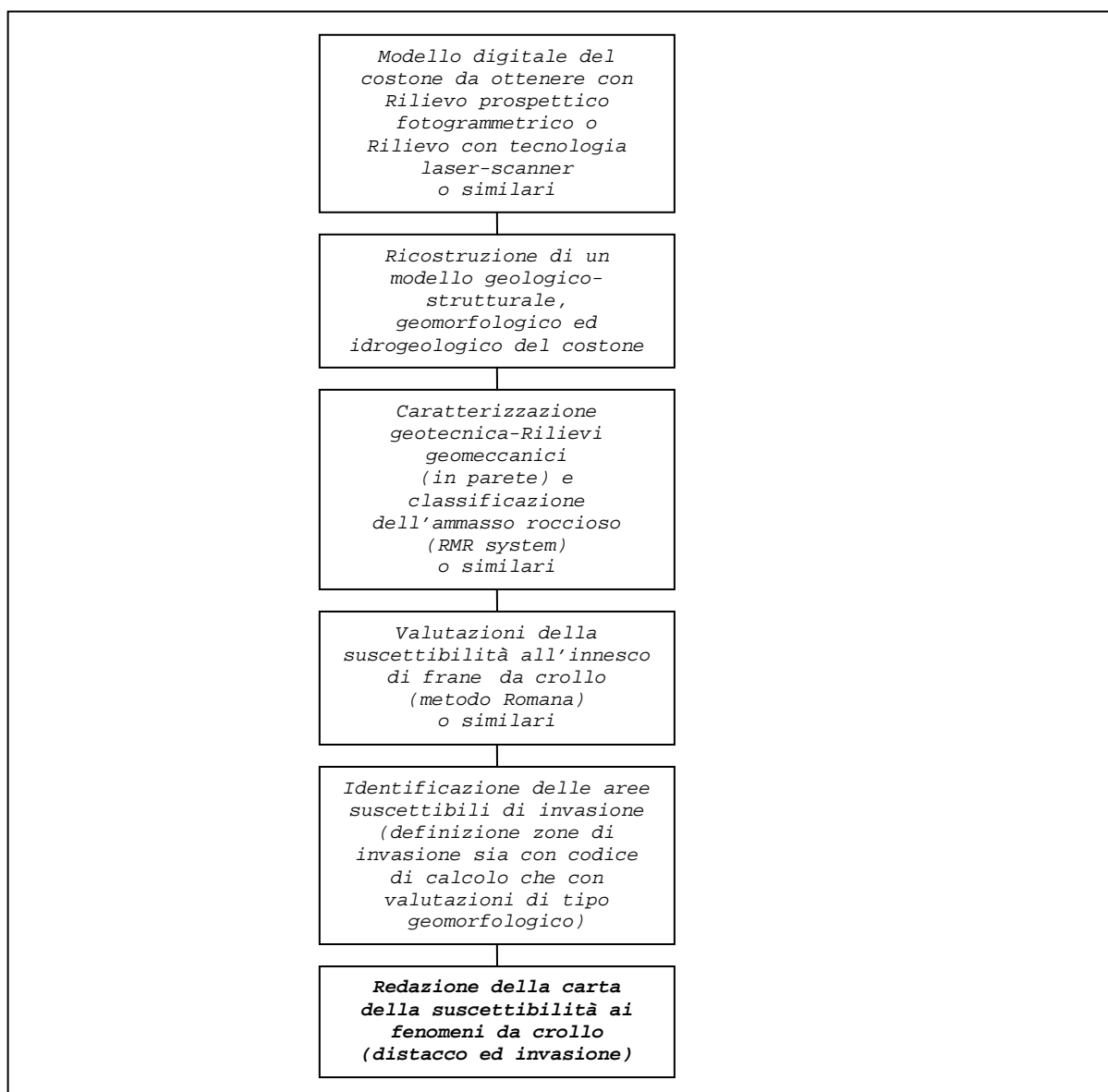
INDICE

PREMESSA.....	3
1. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DTM) - RILIEVO FOTOGRAMMETRICO E RILIEVO CON TECNOLOGIA LASER SCANNER DEI COSTONI ROCCIOSI.....	4
1A. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DEI COSTONI.....	5
1B. RILIEVO LASER-SCANNER DEI COSTONI.....	6
2. RICOSTRUZIONE DI UN MODELLO GEOLOGICO-STRUTTURALE, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DEL COSTONE - REDAZIONE CARTE TEMATICHE.....	8
2A. CARTA GEOLITOLOGICO - STRUTTURALE.....	8
2B. CARTA GEOMORFOLOGICA.....	8
2C. CARTA INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI.....	9
2D. SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE.....	10
2E. MODELLO IDROGEOLOGICO.....	10
3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA - RILIEVI GEOMECCANICI (IN PARETE) E CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO.....	10
4. VALUTAZIONI SULLA SUSCETTIBILITA'ALL'INNESCO DI FRANE DA CROLLO	13
5. IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI INVASIONE.....	15
6. REDAZIONE DELLA CARTA DELLA SUSCETTIBILITA' DA FRANA.....	15
7. CONCLUSIONI.....	16



PREMESSA

Scopo del presente elaborato è quello di proporre delle **linee guida** per l'esecuzione di studi ed indagini finalizzate alla definizione della suscettibilità da crolli in corrispondenza di costoni rocciosi ad andamento prevalentemente sub-verticale ($> 70^\circ$). La metodologia proposta illustrata nei successivi paragrafi e riassunta nello schema che segue, trae spunto, soprattutto, dalle esperienze maturate da questa Autorità, nell'ambito delle attività svolte a supporto delle progettazioni eseguite in collaborazione con la Struttura Commissariale per l'Emergenza Idrogeologica nella regione Campania (ex. OO.P.C.M. nn° 2499 /97, 2787/98, 2994 /99 e 3088 /2000).





1. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DTM) - RILIEVO FOTOGRAMMETRICO E RILIEVO CON TECNOLOGIA LASER SCANNER DEI COSTONI ROCCIOSI

Uno dei problemi fondamentali da risolvere quando si affrontano le problematiche inerenti lo studio dei costoni rocciosi sub-verticali è quello relativo alla creazione di un valido "supporto" cartografico di base su cui riportare i tematismi di sintesi degli studi e delle indagini eseguite.

In passato, venivano utilizzate cartografie di tipo tradizionale con rappresentazioni "in pianta" dei rilievi o, nell'ipotesi migliore, prospetti di tipo "pittorico" e puramente indicativi del costone.

Naturalmente, in entrambi i casi, il livello di approssimazione, rendeva ardua l'esecuzione di studi ed indagini geologico-strutturali affidabili.

Il progresso tecnologico è venuto incontro a questa esigenza e già da diversi anni è utilizzata la tecnologia fotogrammetrica per la ricostruzione prospettica dei costoni.

La fotogrammetria orizzontale permette di identificare la posizione spaziale di tutti i punti d'interesse del costone considerato. Questa tecnica, per quanto originariamente nata per essere utilizzata nel rilievo architettonico, è attualmente utilizzata in massima parte per il rilevamento topografico del territorio, sviluppandosi principalmente nella forma della fotogrammetria aerea.

Oltre a tale tecnologia, si sta affermando, in particolare nell'ultimo ventennio, anche la tecnica laser a scansione (*laser scanner*) che prevede l'utilizzo di dispositivi ottico-meccanici, capaci di emettere un impulso elettromagnetico (il laser) e di ricevere il segnale riflesso, misurando l'intervallo di tempo trascorso e, quindi, la distanza tra lo strumento ed il punto rilevato.

Questo sistema opera misurando anche migliaia di punti al secondo formando delle "nuvole di punti". Per ogni misurazione (x,y,z), il sistema fornisce l'intensità del segnale di ritorno descrivendo la superficie dell'oggetto scansionato. In linea generale, la tecnica laser a scansione offre un maggior dettaglio ed una maggiore velocità di esecuzione rispetto al rilievo fotogrammetrico.

La scelta dell'una o dell'altra tecnica dipende, oltre che, dalle disponibilità economiche, anche dai limiti "ambientali" presenti in ambedue le tecnologie.

La fotogrammetria, anche a causa della necessità preventiva di apporre le mire ottiche sul costone da parte di esperti rocciatori, richiede tempi di esecuzione più lunghi e presenta un dettaglio comunque inferiore.

La tecnologia laser scanner, dal canto suo, presenta limiti su costoni ricchi di vegetazione. In situazioni molto particolari, inoltre, l'estrema ricchezza di dettagli del rilievo, rischia di rendere poco leggibili i tematismi che su di esso si vanno a riportare.

In sintesi, indipendentemente dalla tecnologia utilizzata, il risultato atteso deve essere costituito da un dettagliato modello digitale del costone organizzato in strutture di punti quotati.

Disporre di un rilievo di dettaglio di questo tipo consente, successivamente, di eseguire un'analisi di grande accuratezza del costone e del suo intorno significativo.



1A. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DEI COSTONI

Il rilievo fotogrammetrico, il cui dettaglio dipende dalla scala di restituzione, deve essere preceduto dal progetto delle prese fotografiche, tramite il quale si calcolano il numero di fotogrammi da scattare.

Successivamente, si potrà procedere al calcolo del numero di punti topografici necessari per coprire le coppie stereoscopiche e per conoscere in anticipo come effettuare il rilievo topografico e fotografico.

Terminata la fase teorica si potrà passare a quella operativa in sito, a partire dalle attività dei rocciatori per l'apposizione delle mire fino all'esecuzione del rilievo fotografico.

I fotogrammi utilizzati per la restituzione fotogrammetrica devono avere precise caratteristiche metriche e, quindi, devono essere ripresi con una camera digitale semimetrica di elevata definizione, munita di relativo certificato di calibrazione. In tale certificato, rilasciato dalla ditta costruttrice, devono essere riportati i parametri di correzione della distorsione ottica, le coordinate delle marche fiduciali, la focale dell'obbiettivo utilizzato e le coordinate del punto principale di autocollimazione.

Tutti questi valori devono essere 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 deve essere necessario utilizzare un metodo stereoscopico che permette di orientare i fotogrammi in modo tale da ricostruire il modello in 3D. A tal fine, deve essere 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 devono, inoltre, avere:

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

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, ecc., si devono necessariamente effettuare riprese fotogrammetriche dettagliate e, quindi, da una distanza relativamente vicina all'oggetto.



Il rilievo in funzione della visibilità e della morfologia del sito, potrà essere realizzato da terra, da mare o da elicottero.

Si deve 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 (bersagli cartacei bianchi e neri) applicate da rocciatori.

Le collimazioni dei punti devono essere 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 deve essere adottato un sistema digitale, in grado di gestire i fotogrammi in formato raster. Effettuati gli orientamenti 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. Il file di uscita deve essere di tipo vettoriale, con estensione DXF e quindi intercambiabile con qualsiasi programma di grafica.

Le elaborazioni devono essere completate dall'ortofoto che consiste nell'immagine prospettica digitale dell'oggetto rilevato opportunamente rettificata rispetto al punto di osservazione.

1B. RILIEVO LASER-SCANNER DEI COSTONI

Il laser scanner terrestre può essere considerato come una "stazione totale" motorizzata ad elevata automazione, in grado di acquisire milioni di punti in pochi minuti.

Il principio su cui si basa tale tecnologia è il calcolo del tempo (time-of-flight) di un impulso laser. L'impulso elettrico prodotto dal generatore, collimato da un diodo laser trasmittente, crea un raggio di luce infrarossa; il segnale degli eco riflessi dall'oggetto colpito (di differente intensità in base alla riflettanza di quest'ultimo) viene captato da un fotodiodo ricevitore che genera un segnale elettrico di ricezione.

Il tempo di volo, ossia l'intervallo di tempo che intercorre tra l'impulso trasmesso e l'impulso ricevuto, calcolato tramite un orologio con una frequenza stabilizzata al quarzo, consente di individuare la distanza d'ogni singolo punto rilevato. Al calcolo del tempo di volo è associata una misurazione angolare di precisione data dalla rotazione di due specchi rotanti attorno agli assi x e z (l'asse y è associato alla distanza e la z è la verticale).

La rotazione dello specchio, in funzione della risoluzione angolare impostata dall'operatore per la scansione, crea la spaziatura tra i



differenti punti rilevati sul target e genera la nuvola di punti rilevando l'oggetto indagato.

Per uno strumento laser scanner è importante avere una precisione molto elevata sullo spostamento angolare in quanto ogni errore angolare verrà riprodotto direttamente nel risultato finale e aumenterà proporzionalmente all'aumentare della distanza.

Il valore della distanza misurata e lo spostamento angolare vengono immagazzinati nel sistema interno che processa ogni singolo dato e lo prepara per l'output.

La nuvola di punti rilevata dal sensore viene gestita secondo un sistema di riferimento interno, con origine nel centro strumentale; i dati così generati permettono la determinazione di ogni punto mediante le tre coordinate x , y , z , mentre un quarto valore descrive l'intensità di ritorno (il sensore laser è in grado di valutare l'intensità di riflessione dell'oggetto nei confronti del raggio stesso).

La portata e la precisione del sistema laser è direttamente influenzata dalla lunghezza d'onda e dalla riflettanza dei target (cioè il grado di riflettività della superficie colpita), ma soprattutto dalla qualità dall'elettronica interna che misura il tempo di volo dell'impulso.

La corretta acquisizione del dato è di fondamentale importanza per ottenere la migliore accuratezza del modello generato. Il rilievo di forme tridimensionali complesse richiede un maggior numero di scansioni eseguite da differenti punti di vista, la pianificazione deve essere accurata, mantenendo opportune aree di sovrapposizione. Il posizionamento d'ogni punto di "ripresa" deve essere attentamente valutato per completare la forma tridimensionale, evitando angolazioni troppo accentuate ed integrando le zone d'ombra create dalle occlusioni prospettiche.

L'importanza della pianificazione del lavoro è ancora più evidente se si considera l'utilizzo finale dei dati; una sottostima del numero di scansioni costringerebbe ad una nuova campagna di rilievo ed un eccessivo sovra-campionamento causerebbe problemi di immagazzinamento, processamento ed utilizzo dei files.

Ogni singola scansione conserva un proprio sistema di riferimento sicché per ottenere un modello tridimensionale completo è necessario orientare tutte le scansioni secondo uno stesso sistema.

L'allineamento avviene, quindi, individuando almeno tre punti omologhi presenti all'interno di due scansioni adiacenti (elementi antropici quali spigoli di case, finestre, ecc., elementi morfologici riconoscibili, target artificiali). Questi punti, la cui posizione è nota nei rispettivi sistemi di riferimento, permettono, nella fase iniziale, un primo avvicinamento delle due scansioni; il calcolatore in seguito effettuerà una ricerca automatica di tutti i punti omologhi, eseguendo una rototraslazione spaziale senza variazione di scala rispetto al



sistema di riferimento della scansione adiacente (utilizzata come reference) e determinerà 6 parametri indipendenti tra loro: tre rotazioni e tre traslazioni spaziali.

Nell'allineamento viene così fornita la stima dei parametri di orientamento e generata la matrice di rototraslazione applicata alla scansione allineata rispetto a quella di riferimento.

L'applicazione di questo procedimento ad ogni singola scansione permette la creazione del modello digitale completo di un oggetto complesso, quale è un costone roccioso.

2. RICOSTRUZIONE DI UN MODELLO GEOLOGICO-STRUTTURALE, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DEL COSTONE - REDAZIONE CARTE TEMATICHE

Utilizzando come base i rilievi di cui ai punti precedenti va ricostruito, preliminarmente, il modello geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico del costone indagato. In particolare vanno redatte, ad una scala compatibile con le dimensioni del costone esaminato (in genere con un dettaglio $> 1:500$), le successive carte tematiche, per la realizzazione delle quali, oltre alle consuete tecniche di rilevamento geologico, è opportuno prevedere l'utilizzo di idonea strumentazione ottica per l'osservazione di particolari difficilmente visibili.

2A. CARTA GEOLITOLOGICO - STRUTTURALE

Tale elaborato andrà realizzato secondo le consuete tecniche del rilevamento geologico integrato dall'analisi dai rilievi innanzi descritti.

In particolare, dovranno essere differenziati:

- *aspetti litologici* - andranno distinti i litotipi affioranti in funzione dell'omogeneità litologica, giacitura e tessitura sottolineandone gli aspetti tecnicamente utili sotto il profilo applicativo;
- *stato dell'ammasso roccioso* - dovrà essere evidenziato lo stato di fratturazione e di alterazione dei complessi litologici affioranti in riferimento alle classifiche A.G.I. 1977 e A.G.I. 1985;
- *elementi strutturali* - con apposita simbologia dovranno essere riportati sia i dati relativi ai principali elementi strutturali di origine primaria sia quelli di origine secondaria.

2B. CARTA GEOMORFOLOGICA

Tale elaborato va redatto sulla base di dati derivanti da specifiche attività di rilevamento eseguite, integrate dall'esame stereoscopico delle strisciate fotografiche eventualmente disponibili.



Inoltre, si prevede anche un esame critico di tutti i dati geomorfologici e stratigrafici disponibili, sia presso l'Autorità che presso altri Enti territorialmente competenti.

In ogni caso, in tale elaborato, dovranno essere rappresentate, tutti gli elementi e le componenti morfografiche e morfometriche del costone, nonché le forme denudazionali (erosionali e/o gravitative) e deposizionali. Vanno inoltre evidenziate "singolarità morfologiche" quali: guglie rocciose, diedri, tetti in roccia, cavità, massi instabili e/o già crollati ecc.

In generale, quindi, si dovranno:

- descrivere i caratteri morfologici delle forme del costone in relazione al quadro geologico e strutturale;
- interpretare la morfogenesi passata in relazione ad associazioni di forme del costone riferibili a regimi morfoclimatici e geodinamici anche diversi da quello attuale, individuando le attuali tendenze evolutive in relazione ai processi in atto, quiescenti ed inattivi;
- individuare sia le zone di distacco di blocchi o di massi che le aree di invasione; vanno anche individuate eventuali segni di tendenza evolutiva sia a monte che a valle del costone;
- caratterizzare morfometricamente l'accumulo detritico e la porzione potenzialmente rimobilizzabile (estensione/volumetria delle masse instabili o a stabilità incerta e ulteriori parametri morfometrici);
- evidenziare i caratteri morfografici e morfometrici del paesaggio.

2C. CARTA INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI

A completamento degli aspetti morfologici si ritiene utile elaborare, mediante rilievi di campagna puntuali e l'esame stereoscopico di foto eventualmente disponibili, nonché la consultazione della documentazione storica, una carta inventario dei fenomeni franosi di tipo verticale.

Analogamente a quanto previsto per la cartografia tradizionale, ove possibile, si dovrà procedere all'acquisizione delle seguenti informazioni relative "all'ambito frana":

- identificazione e delimitazione;
- classificazione evento - (tipo di movimento, velocità, materiale, contenuto d'acqua);
- geologia - (litologia, struttura, spaziatura, litotecnica, degradazione, discontinuità);
- cause - (intrinseche, fisiche, geomorfologiche, antropiche);
- danni;
- interventi di mitigazione del rischio eventualmente presenti.

Per l'archiviazione dei dati relativi alle frane dovrà essere utilizzata la scheda dei fenomeni franosi predisposta dal SGI di concerto



con il CNR e riportata nell'Atto d'indirizzo e coordinamento DPCM 29/9/98 (schede IFFI-Inventario Fenomeni Franosi in Italia nella versione più aggiornata disponibile).

Per tutte le frane cartografate, andranno distinte e restituite le informazioni relative alle aree di alimentazione, innesco, transito e deposito; quest'ultimo aspetto, ove rilevabile, assume particolare importanza in quanto fondamentale per l'individuazione delle aree di invasione e per la taratura di modelli del calcolo delle traiettorie di cui al paragrafo 5.

2D. SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE

La morfologia del substrato roccioso, la distribuzione e l'entità della copertura detritica e/o la presenza di eventuali materiali di origine piroclastica o terrigena depositi in genesi primaria e secondaria nell'ambito di concavità morfologiche preesistenti e l'entità della copertura detritica possono essere valutate e messe in risalto mediante la ricostruzione di sezioni geologiche opportunamente posizionate.

L'ubicazione delle sezioni dovrà essere effettuata sulla base del DTM ricostruito attraverso i rilievi aerofotogrammetrici o laser scanner prima descritti.

Nelle aree in cui il substrato risulta celato dalla copertura detritica, la ricostruzione di sezioni geologiche di dettaglio richiede la valutazione preliminare della soggiacenza dello stesso rispetto al piano campagna che verrà ricostruita solo se tale dato risulta essere significativo ai fini della stabilità.

2E. MODELLO IDROGEOLOGICO

Al fine di avere una visione completa ed esaustiva degli aspetti di base si ritiene opportuno che vada effettuata anche un'analisi delle caratteristiche idrogeologiche del costone che possono influire sulla stabilità dello stesso. Pertanto, oltre a rappresentare i dati di permeabilità dei litotipi costituenti il costone, vanno evidenziati anche singolarità idrogeologiche quali: condotti carsici, venute d'acqua in parete ecc.

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA - RILIEVI GEOMECCANICI (IN PARETE) E CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Dopo aver ricostruito il modello geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico a scala globale, vanno previste analisi di dettaglio di tipo strutturale da far eseguire, per l'intera parete, da geologi esperti rocciatori.



Una volta definita la scala di restituzione dei dati, deve essere progettato il numero di "calate" da eseguire anche in funzione del numero di "stazioni di misura" che si intendono effettuare.

I rilievi sono finalizzati all'acquisizione di informazioni e dati necessari alla classificazione dell'ammasso sotto il profilo geomeccanico.

La maggior parte dei criteri di classificazione dei costoni rocciosi si avvale delle procedure proposte da Piteau, Robertson, Patton & Deere, Muller & Hofmann, integrate e rielaborate dall'I.S.R.M. le cui raccomandazioni "Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses" consentono di descrivere ed interpretare in modo razionale ciò che in natura appare molto spesso disordinato e casuale giungendo a ciò che sinteticamente è denominato "rilievo geostrutturale".

Le discontinuità, cioè l'interruzione di continuità della massa rocciosa, sono rappresentate dal sistema di fessure, piani di stratificazione, piani di scistosità, zone di indebolimento e faglie.

I parametri che in dettaglio, secondo le raccomandazioni dell'ISRM (1978), consentono di descrivere le discontinuità in maniera quantitativa sono quelli di seguito elencati e brevemente descritti:

- **A1-resistenza a compressione** - Resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso roccioso misurata in situ con il Martello di Schmidt e/o in laboratorio attraverso prove di compressione semplice. Questa chiaramente, può essere minore della resistenza della roccia intatta a causa dell'esposizione agli agenti atmosferici e per la conseguente alterazione delle pareti;
- **A2-RQD - Rock Quality Designation** - E' dato dal rapporto tra la somma degli spezzoni di carota aventi lunghezza superiore a 10 cm e la lunghezza totale della carota. Quando non si hanno a disposizione dei sondaggi, il valore di RQD può essere ottenuto con la formula di Palmstrom:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

dove J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100 e^{(0,1 n)} (0,1 n + 1)$$

con n numero medio di giunti per metro.

- **A3-spaziatura** - Distanza tra discontinuità adiacenti misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse;
- **A4-condizioni delle discontinuità:**
 - o **riempimento:** materiale che separa le pareti di una discontinuità e che è di solito meno resistente della roccia ospite. Tipici materiali di riempimento sono sabbia, limo, argilla, breccia più o meno fine, milonite;
 - o **persistenza** - Lunghezza della discontinuità osservata in un affioramento. Essa dà una misura dell'estensione areale e/o della profondità di penetrazione di una discontinuità. Il



fatto che il piano di discontinuità termini in roccia massiccia o contro altre discontinuità riduce la persistenza;

- o *apertura* - Distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità. Lo spazio interposto può essere riempito da aria o acqua o da altro materiale;
- o *rugosità* - Scabrezza delle superfici di una discontinuità ed ondulazione relativamente al piano medio delle discontinuità. Sia la rugosità che il suo andamento morfologico contribuiscono alla resistenza di taglio. È misurata con il "pettine di Barton";
- o *alterazione delle pareti*

- **A5 condizioni idrauliche** - Flusso d'acqua e/o umidità visibile, ovvero, valutabile nelle singole discontinuità, nell'eventuale riempimento delle stesse o nella massa rocciosa nel suo insieme.

I dati, così raccolti, devono essere riportati in apposite schede standardizzate per la raccolta sistematica nonché sintetizzati in appositi diagrammi (polari, di frequenza, ecc.)

Gli stessi, secondo la metodologia di Beniauskas, vanno poi utilizzati ai fini della definizione della classe di qualità dell'ammasso roccioso (valore RMR - **Rock Mass Rating**). Ad ogni parametro vanno attribuiti dei valori secondo la tabella che segue:

PUNTEGGIO	100-81	80-61	60-41	40-21	< 21
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buono	Buono	discreto	scadente	Molto scadente
COESIONE (KPa)	400	300-400	200-300	100-200	<100
ANGOLO D'ATTRITO (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15
TEMPO DI AUTOSOSTENTAMENTO	20	1	1 settimana	10 ore	30 minuti

La classe di appartenenza si ricava dalla somma dei coefficienti parziali attribuiti ad ognuno dei suddetti parametri:

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<= 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente



I risultati ottenuti dalle fasi di indagini descritte ai punti precedenti, quindi, devono essere sintetizzati in un modello geo-meccanico dell'ammasso che deve comprendere:

- 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.

Le indagini e i rilievi condotti, quindi, vanno sintetizzati nei seguenti elaborati:

- **Carta delle calate e delle stazioni di misura;**
- **Carta della classificazione dell'ammasso roccioso, nella quale riportata la zonazione del costone in base ai valori di RMR ricavati;**
- **Carta del modello strutturale dell'ammasso riportante le principali caratteristiche elencate in precedenza;**
- **Schede delle stazioni di misura relative ai vari parametri previsti dal RMR System**

4. VALUTAZIONI SULLA SUSCETTIBILITA'ALL'INNESCO DI FRANE DA CROLLO

Ottenuti i dati derivanti dal rilievo geostrutturale, si può procedere ad effettuare valutazioni sulla suscettibilità areale all'innesco di frane da crollo dell'ammasso roccioso, attraverso la definizioni di classi di stabilità. Tra i vari metodi presenti in letteratura si fa riferimento al metodo Romana - SMR(1985). Tale metodo propone di aggiungere al valore di RMR (di base), alcuni fattori di aggiustamento sulla base dell'orientamento relativo fra discontinuità e fronte del versante aggiungendo un ulteriore fattore che tiene conto dell'eventuale metodo di scavo:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Il primo fattore di aggiustamento è il prodotto di tre fattori:

- F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti.



- F2 è riferito all'inclinazione del giunto nell'ipotesi di rottura planare.
- F3 mantiene le relazioni proposte da Beniaowsky per l'inclinazione fra fronte e giunti.
- F4 rappresenta un fattore di correzione legato al metodo di scavo ed è stato fissato empiricamente.

Le condizioni di stabilità verificate sono relative a rotture planari, per ribaltamento (toppling) e rotture a cuneo.

Sulla base della tabella che segue si attribuiscono i valori ai fattori:

ROTTURA	CINEMATISMO	CONDIZIONE				
		Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Planare Toppling Cuneo	$\alpha_j - \alpha_f$ $\alpha_j - \alpha_f - 180^\circ$ $\alpha_i - \alpha_f$	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
	F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Planare Cuneo	β_j β_i	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Toppling	F2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Planare Cuneo	$\beta_j - \beta_f$ $\beta_i - \beta_f$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
Toppling	$\beta_j - \beta_f$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
	F3	0	-6	-25	-50	-60

dove:

- α_j = immersione del giunto
- α_i = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo
- α_f = immersione del fronte del versante
- β_j = inclinazione del giunto
- β_i = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo
- β_f = inclinazione del fronte

Il fattore F4 vale invece:

METODO DI SCAVO	F4
Scarpata naturale	15
Abbattimento con pretaglio	10
Abbattimento controllato	8
Abbattimento normale	0
Abbattimento non controllato	-8



Calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali, fornite da Romana, sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematismo di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione:

SMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buona	Buona	Mediocre	Scadente	Molto scadente
STABILITA'	Sicuramente stabile	Stabile	Parzialmente stabile	Instabile	Sicuramente instabile
MODO DI ROTTURA	Assente	Possibili blocchi	Lungo piani o per cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Su grandi piani o rototraslazionali
STABILIZZAZIONE	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata

5. IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI INVASIONE

Una volta definite le caratteristiche di stabilità dell'ammasso e ricavando, dai rilievi strutturali, le dimensioni del "masso di progetto" è possibile ipotizzare le probabili traiettorie di caduta di singoli blocchi delimitando, in questo modo, le aree suscettibili d'invasione da frane.

La modellazione, convenientemente, può essere eseguite con gli appositi software in commercio e va eseguita lungo profili, ricavati dal DTM, ritenuti tecnicamente significativi. I risultati ottenuti vanno confrontati, in maniera critica, con i dati ricavabili dalle altre carte tematiche; particolare rilevanza assume l'individuazioni di massi già crollati e falde di detrito eventualmente presenti.

6. REDAZIONE DELLA CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ DA FRANA

Sulla base delle analisi descritte nei paragrafi precedenti va redatta la **CARTA DELLA SUSCETTIBILITÀ DA FRANE** dei costoni, sia in pianta che in prospetto, per una corretta rappresentazione anche delle aree suscettibili da invasione. In essa vanno riportate: le classi di suscettibilità/stabilità all'innesco di cui al paragrafo 4, le aree suscettibili all'invasione di cui al paragrafo 5 e tutte le singolarità morfologiche che sono un chiaro indizio di franosità pregressa o potenziale (massi instabili, massi crollati, nicchie di distacco, falde detritiche, scavarnamenti ecc.). Detto elaborato dovrà essere accompagnato anche da un **ELABORATO TECNICO DI SINTESI** nel quale, oltre alla descrizione delle attività svolte, devono essere riportati, anche come allegati, i dati relativi alle analisi strutturali svolte dai rocciatori, la documentazione fotografica, la monografia dei massi presenti in parete, l'eventuale calcolo delle traiettorie, ecc.

7. CONCLUSIONI

Le attività descritte nei precedenti paragrafi, vanno sintetizzate nei seguenti elaborati:

ATTIVITÀ	ELABORATO
CREAZIONE DI UN DTM DEL COSTONE	<i>Rilievo prospettico del costone (laser scanner o fotogrammetria)</i>
MODELLO GEOLOGICO-STRUTTURALE, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DEL COSTONE	<i>Carta geolitologico-strutturale</i>
	<i>Carta geomorfologica</i>
	<i>Carta inventario dei fenomeni franosi</i>
	<i>Sezioni geologiche interpretative</i>
	<i>Carta idrogeologica</i>
RILIEVI GEOMECCANICI IN PARETE E CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO	<i>Carta delle calate e delle stazioni di misura</i>
	<i>Carta della classificazione dell'ammasso roccioso, nella quale riportata la zonazione del costone in base ai valori di RMR ricavati</i>
	<i>Carta del modello strutturale dell'ammasso riportante le principali caratteristiche elencate in precedenza</i>
	<i>Schede delle stazioni di misura relative ai vari parametri previsti dal RMR System</i>
VALUTAZIONI DELLE AREE SUSCETTIBILI ALL'INNESCO ED IDENTIFICAZIONE DELLE AREE SUSCETTIBILI DI INVASIONE	<i>Carta della suscettibilità da frana</i>
	<i>Allegato tecnico di sintesi</i>

Dr.ssa geol.

Moretta Filomena

Dr.geol.

Minotta Crescenzo

Dr.geol.

Lombardi Gerardo