

LA STABILITÀ STRUTTURALE DEI PENDII ROCCIOSI NELL'AMBITO DI UNA ZONIFICAZIONE GEOTECNICA DEL TERRITORIO

Gianfranco Perri (*)

Riassunto

Nell'ambito di uno studio di « Zonificazione dei rischi geologici » del territorio, è presentata una metodologia per l'« Analisi di stabilità geostrutturale » dei pendii rocciosi, mediante un'estensione dell'uso delle proiezioni emisferiche per lo studio della stabilità delle scarpate rocciose. Dopo un breve esame della problematica generale della stabilità di pendii rocciosi e dello studio con le tecniche delle proiezioni emisferiche è presentata dettagliatamente la metodologia elaborata, con un'applicazione ad un caso reale studiato dall'Autore. Nelle conclusioni si esaminano gli aspetti più generali della zonificazione dei rischi geologici nel cui contesto l'analisi geostrutturale presentata rappresenta uno dei contributi necessari.

Summary

Within the framework of a study on « The Zoning of Geological Risks » of the territory, a methodology for the « Analysis of Geostructural Stability » of rock slopes, through the extension of known techniques for hemispheric projections for the study of slope stability in rocks, is presented. After a summary of the general problems involved in the stability of rocky slopes and a study of the techniques of the hemispheric projections, the methodology is presented in detail together with its application to a real case studied by the Author. In the conclusions emphasis is given to the general aspects of zoning of geological risks in the sense that the geostructural analysis presents only one of the necessary factors.

Résumé

Dans le cadre d'une étude sur les risques géologiques du territoire on présente une méthode d'analyse de stabilité géostructurale des pentes rocheuses au moyen d'une extension de l'emploi des projections hémisphériques. Après un bref aperçu sur le problème de la stabilité des pentes rocheuses et de son étude au moyen des techniques des projections hémisphériques, on présente en détail la méthode élaborée avec une application à un cas réel étudié par l'Auteur. On conclut en examinant les aspects, plus généraux de l'étude des risques géologiques du territoire dans le contexte de laquelle l'analyse géostructurale représente une contribution nécessaire.

(*) Dott. Ing., docente di « Meccanica delle rocce » presso l'Università Centrale di Caracas, Venezuela.

INTRODUZIONE

Nella nota si vuole illustrare solamente uno degli aspetti connessi alla metodologia sviluppata per ottenere un'efficace zonificazione del territorio in relazione al problema dei rischi geologici.

In effetti, l'aspetto della stabilità geostrutturale, che qui si commenterà, integra e completa gli altri numerosi aspetti che concorrono alla definizione di una zonificazione completa dei rischi geologici del territorio. I due principali sono l'aspetto geolitologico e quello geomorfologico.

Si vuole qui presentare la metodologia per l'analisi della stabilità geostrutturale con considerazioni che presentano aspetti di novità e di efficacia ai fini di uno studio a scala mediana (da 1:1000 a 1:10000) di zonificazione del territorio.

D'altronde si tratta semplicemente di un ampliamento di quei concetti e metodologie conosciute come tecnica delle proiezioni emisferiche già ampiamente illustrate da numerosi Autori, fra i quali HOEK e BRAY (1974), GOODMAN (1976).

PROBLEMATICA GENERALE

In un ambiente roccioso, caratterizzato da un comportamento meccanico fortemente anisotropo dovuto alla presenza di superfici di minor resistenza sistematicamente ordinate al suo interno, i parametri che determinano in modo decisivo la stabilità dei pendii sono di due ordini principali:

- i parametri di resistenza al taglio (coesione e attrito) che si possono sviluppare lungo superfici di minor resistenza o piani di discontinuità geologico-strutturale;
- la giacitura reciproca fra le superfici di discontinuità e i piani delle superfici libere delle masse rocciose: le fronti dei pendii.

In particolare, relativamente al problema della stabilità di pendii in roccia, si possono definire almeno tre situazioni caratteristiche possibili:

a) *Condizioni cinematicamente stabili*. Cioè l'ubicazione relativa nello spazio fra le superfici interessate nel problema che non dà luogo all'esistenza di alcun grado di libertà cinematica per tutta la struttura, la quale di conseguenza risulta stabile indipendentemente dalle caratteristiche di resistenza al taglio lungo le superfici di discontinuità.

Più esplicitamente, perché avvengano movimenti di volumi rocciosi nel pendio, è necessario che le linee di intersezione fra piani di discontinuità esistenti nel massiccio roccioso si immergano verso il piede del pendio con un'inclinazione minore di quella del pendio stesso nel verso del movimento potenziale. D'altro lato si possono manifestare movimenti di tipo piano, oltre a quelli dei cunei di roccia già citati, quando il piano di discontinuità sia sub-parallelo al pendio e presenti un angolo di immersione nello stesso verso e minore di quello del pendio stesso.

In altre parole è necessario, perché ci sia la possibilità di movimento, che tanto la linea di intersezione dei piani di discontinuità nel caso di cunei, come il piano stesso della discontinuità nei casi di movimento piano, « affiorino » sul fronte del pendio; in caso contrario si verificano le condizioni di stabilità cinematica.

b) *Condizioni di instabilità cinematica e di stabilità meccanica.* Quando si verificano le condizioni geometriche di instabilità cinematica interviene, ad opporsi al movimento, la resistenza al taglio che può svilupparsi al contatto tra i piani di discontinuità in questione.

Tale resistenza al taglio, che è funzione di più variabili fisiche e in particolare della natura geologica dei materiali che costituiscono la massa rocciosa e delle condizioni morfologiche delle superfici affacciate delle discontinuità, è in generale dovuta a due distinti fattori meccanici: l'attrito e la coesione.

L'attrito sviluppa forze resistenti che non sono legate alle dimensioni delle superfici di contatto e conseguentemente non dipendono dalla scala del problema ma semplicemente dall'inclinazione dei piani di discontinuità; il secondo parametro, la coesione, sviluppa invece forze resistenti di intensità direttamente proporzionale alle dimensioni delle superfici di contatto e che pertanto sono molto legate alla scala del problema (in particolare con l'altezza del pendio), mentre sono indipendenti dalla giacitura delle strutture.

Può accadere pertanto che tali forze resistenti, che si possono sviluppare al contatto lungo le superfici di discontinuità, siano superiori rispetto alle forze attive (essenzialmente dovute all'effetto della gravità) tendenti a produrre il movimento ed in tal caso il pendio continuerà a mantenersi stabile e si potrà definire un fattore di sicurezza (F_s) uguale al rapporto tra forze resistenti e forze attive; entrambe calcolate come componenti parallele alla direzione del movimento potenziale.

c) *Condizioni di instabilità cinematica e meccanica.* Se, verificandosi la situazione di instabilità cinematica, avviene che le forze attive superino in intensità le corrispondenti forze resistenti, il fattore di sicurezza del pendio risulterà minore di 1 ed il pendio stesso sarà instabile.

Può avvenire inoltre che il fattore di sicurezza, nonostante sia maggiore dell'unità, risulti di valore non accettabile per il tipo di opera in studio o, in altre parole, può avvenire che si voglia garantire un fattore di sicurezza minimo superiore all'unità. In entrambi i casi, si richiede di stabilizzare artificialmente il pendio. Ciò potrà realizzarsi in modi differenti che vanno dalla modificazione della geometria del pendio, sino all'applicazione di forze esterne stabilizzanti che si sommano alle forze resistenti o che, in alternativa o contemporaneamente, si oppongono direttamente alle forze attive.

LA TECNICA DELLE PROIEZIONI EMISFERICHE

Come già accennato, le tecniche di rappresentazione e interpretazione dei problemi geostrutturali mediante le proiezioni emisferiche sono assai note e diffuse tra gli ingegneri geologi e geotecnici, così come le relative applicazioni a problemi di analisi e calcolo di stabilità di pendii rocciosi.

Pertanto non si dedicherà spazio all'illustrazione di queste tecniche di base, rinviando i lettori che lo desiderino alla abbondante bibliografia disponibile e solo in minima parte riportata al fondo della nota.

Basti solo osservare che tutte le considerazioni sulla problematica generale

dell'analisi di stabilità, illustrata nel precedente paragrafo, trovano, nella tecnica delle proiezioni emisferiche, un supporto ideale per la presentazione, analisi, studio e quantificazione dei problemi. Effettivamente, tali tecniche costituiscono uno strumento estremamente comodo e semplice per la rappresentazione in un piano (sulla base di un reticolo) dei complessi fenomeni di interazione spaziale fra le strutture geometriche interessate; e inoltre è ugualmente comodo e facile introdurre nella rappresentazione gli effetti della resistenza meccanica al taglio nelle sue componenti d'attrito e anche di coesione; infine, le tecniche più avanzate permettono la quantificazione completa del problema sino alla determinazione dei fattori di sicurezza e degli effetti di eventuali forze esterne non dovute alla gravità.

LA METODOLOGIA DI ANALISI

Già sono stati menzionati i fattori che giocano un ruolo fondamentale nella problematica della stabilità di pendii rocciosi. Il secondo di tali fattori è stato denominato « ubicazione reciproca tra i piani geostrutturali e le superfici topografiche »; in altre parole, è fondamentale l'interazione geometrica tra queste due famiglie di piani: la prima, intrinseca per la natura geologico-strutturale delle formazioni rocciose, e la seconda conseguente alla topografia della zona, cioè direzione ed immersione dei vari pendii che compongono il rilievo.

Risulta chiaro che per un esame a grande scala, come quello ora proposto, la metodologia da usare deve essere intimamente legata a concetti statistici e probabilistici in considerazione del fatto che non si deve studiare una situazione estremamente localizzata (per esempio, un solo pendio), ma piuttosto un'area estesa; così come pure non si ricerca la soluzione ad un problema locale, ma si vuole bensì ottenere una zonificazione dei rischi geologici. Il termine stesso di rischio, d'altronde, implica direttamente i menzionati concetti statistici e probabilistici.

Pertanto è pure ovvio che l'efficacia e l'affidabilità dei risultati, di qualsiasi tipo, di un tale studio saranno strettamente connesse all'abbondanza e rappresentatività dei dati di partenza.

Nel caso in esame, i dati di partenza, per lo meno nella prima fase dell'analisi, sono la giacitura, associata alla natura geologico-geomeccanica delle discontinuità strutturali presenti nelle formazioni rocciose della zona (la prima famiglia di piani) e la giacitura dei piani della superficie topografica della stessa zona (la seconda famiglia di piani).

Si tratta successivamente di analizzare con adeguati criteri le interazioni esistenti, da un lato tra i differenti piani della prima famiglia, e poi tra questi ed i piani della seconda famiglia. Questo tipo di analisi permette di evidenziare interessanti aspetti del problema e conduce alla quantificazione e localizzazione del fenomeno nella sua integrità.

Per illustrare la metodologia in questione si farà riferimento ad un esempio pratico relativo alla zonificazione dei rischi geologici realizzato per un'area di circa 100 ettari, per la quale è previsto il progetto di un'urbanizzazione di carattere residenziale, ubicata nelle colline a S-W della conca della città di Caracas. Più

precisamente si tratta dell'urbanizzazione « Colinas de Valle Arriba », che geologicamente si situa nella Formazione Las Mercedes del Gruppo Caracas, descritta inizialmente da AGNERREVERE e ZULOAGA (1937) come una successione di scisti calcarei con zone grafitose localmente micacee.

Il primo gruppo di dati importanti proviene direttamente dal lavoro di campagna di rilievo geostrutturale. Il risultato di questo studio, oltre alla definizione di unità e sotto-unità geologiche e delle rispettive caratteristiche peculiari, fornisce tutto il volume dei dati strutturali costituito dalla giacitura e dalla descrizione geomorfologica delle principali discontinuità strutturali esistenti.

Queste, nel lavoro in oggetto, sono state divise in « scistosità », « diaclasi » e « faglie minori ». Nella Fig. 1a, è rappresentato il diagramma di concentrazione dei poli di discontinuità; si noti l'elevato numero di strutture misurate e analizzate: 1130.

Nella Fig. 1b è raffigurato il corrispondente diagramma di contorno dei poli; esso evidenzia la presenza di due chiari sistemi di discontinuità, uno corrispondente ai piani di scistosità ed un secondo ai piani delle diaclasi. Le faglie minori seguono un sistema simile a quello delle scistosità.

Come complemento utile per le considerazioni successive, si riportano nelle figure 2a e 2b, rispettivamente, gli involuppi dei cerchi meridiani dei piani di scistosità e delle diaclasi; nelle due figure è pure evidenziata l'area delimitata dagli involuppi, che rappresenta la zona in cui si localizzano le intersezioni tra le due famiglie di discontinuità, in altre parole linee di tutti i possibili cunei strutturali presenti nell'area studiata.

Con ciò si sono analizzate e classificate le caratteristiche relative al primo parametro in gioco: l'aspetto geostrutturale.

Si deve ora prendere in considerazione il secondo parametro in gioco: l'aspetto topografico.

A questo proposito risulta comodo immaginare le colline formanti l'area in esame, come l'insieme di un numero più grande di piccoli pendii ciascuno dei quali, rappresentando una piccola porzione dei fianchi, della sommità e della base di un rilievo, è caratterizzato da una ben definita giacitura di un piano. Ciò fatto, si dovrà semplicemente quantificare il problema, cioè definire e localizzare per ciascuno di questi pendii ideali, che saranno certamente numerosissimi, le corrispondenti caratteristiche geometriche di direzione ed immersione.

A tal fine è stata costruita una mappa delle giaciture, la quale oltre ad essere caratterizzata dai valori di immersione di ciascuna porzione di superficie, contiene intrinsecamente l'informazione relativa alla direzione dei piani.

Sono stati utilizzati 4 campi di valori di inclinazione ed 8 per la direzione, come indicato nelle figure 3a e 3b, in cui i risultati ottenuti con l'analisi nell'area studiata sono dati in forma di istogrammi.

Si può ora utilizzare l'idea con cui si è associato al rilievo topografico un insieme di piccoli pendii che, geometricamente, non sono altro che piani la cui giacitura è conosciuta con sufficiente precisione. Ugualmente si può rappresentare, con proiezioni stereografiche, quest'insieme di piani mediante un semplice diagramma di concentrazione di poli, che ci permette di costruire successivamente

un diagramma di contorno dei poli e l'inviluppo dei corrispondenti cerchi meridiani. Questi ultimi sono riportati nella Fig. 5a.

Avvicinandosi alla fase conclusiva dell'analisi, una volta definiti gli aspetti qualitativi e soprattutto quantitativi dei fattori coinvolti nel problema, non resta che metterli a confronto e dedurre le conclusioni relative alla stabilità geostutturale dell'area studiata.

Ricordando le già citate situazioni caratteristiche possibili del problema di stabilità di pendii in roccia (a, b, c), è evidente che interessa da un lato individuare le condizioni cinematicamente stabili per non doversi occupare di esse, e d'altro lato individuare quali, fra le condizioni di instabilità cinematica, possano rivestire carattere di instabilità meccanica e quali no.

Anche se in generale si rinvia alla fase di studio di dettaglio il calcolo esatto del fattore di sicurezza per i pendii cinematicamente instabili, è quasi sempre possibile, nella fase di zonificazione generale, assumere un valore minimo della componente d'attrito della resistenza al taglio che di sicuro si manifesta lungo le diverse superfici di discontinuità analizzate.

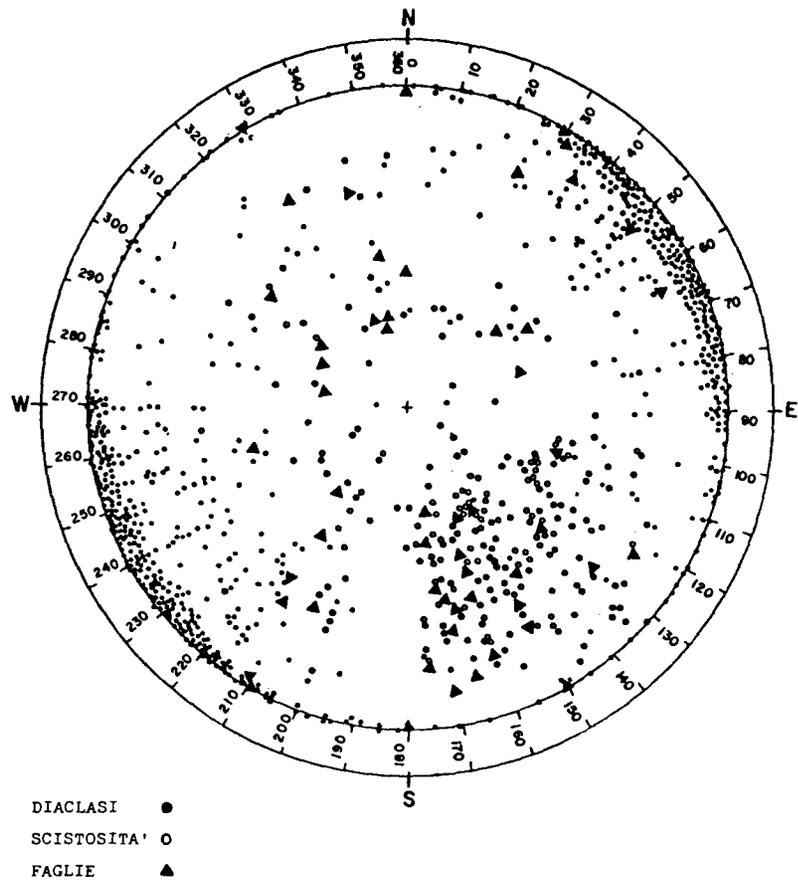
Ciò permette di definire meglio i casi da analizzare dettagliatamente nella successiva fase di studio, includendo quindi nel gruppo dei pendii sicuramente stabili (cinematicamente), anche quelli che lo sono (meccanicamente) per il contributo della sola componente d'attrito della resistenza al taglio, valutata per ora in modo prudenziale.

La tecnica delle proiezioni stereografiche in effetti ci offre questa possibilità in modo estremamente semplice: soltanto tracciando nel diagramma un cerchio concentrico con il reticolo che individui, dalla periferia verso il centro, il valore dell'angolo d'attrito disponibile. Nella Fig. 4b, tenendo conto di quanto ora detto, si delimita l'area che non deve essere intercettata dai cerchi meridiani di pendii stabili con riferimento allo scivolamento di cunei.

Tornando all'esempio pratico in esame, l'aspetto qualitativo del problema della stabilità risulta ora evidente e facilmente deducibile nella fase di analisi a cui si è giunti con l'elaborazione e rappresentazione dell'insieme dei dati raccolti: da un lato osserviamo che le strutture di scistosità immergono verso NW, le diaclasi sono quasi verticali con direzione NE-SW e le strutture dei potenziali cunei immergono anch'essi verso NW; d'altra parte la topografia della zona presenta pendii che si immergono prevalentemente verso NE e SE ed, in ogni caso, senza immersioni verso W.

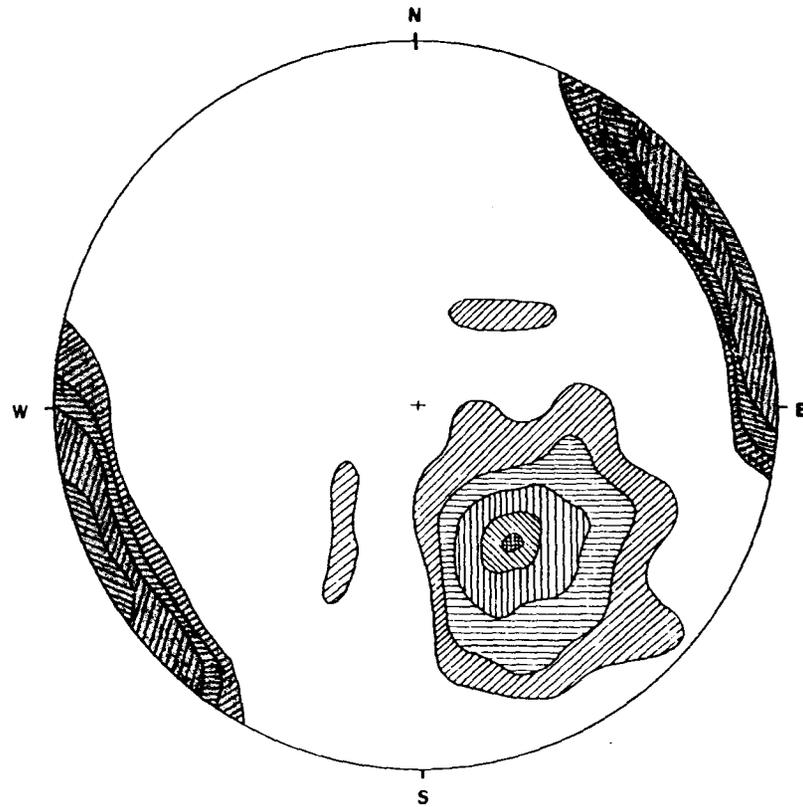
Lo studio si proponeva inoltre di quantificare gli aspetti del problema e con tale fine, sulla base dei dati già presentati, si è proceduto a realizzare una semplice e nuova elaborazione con il seguente procedimento:

- si sovrappongono le rappresentazioni riportate nelle figure 4a e 4b;
- si evidenzia la zona delimitata dall'inviluppo dei piani della superficie topografica e dell'area dei pendii potenzialmente instabili;
- si delimita la porzione del diagramma di contorno dei poli i cui cerchi meridiani sono compresi nella figura evidenziata nel punto precedente. In altre parole, tra tutte le superfici esistenti, si individuano i poli di quelle i cui cerchi meridiani intercettano in tutta la sua lunghezza la menzionata figura del punto precedente.



DIACLASI ●
 SCISTOSITA' ○
 FAGLIE ▲

FIG. 1a - *Diagramma di concentrazione dei poli*
 n. di poli delle scistosità = 226, n. di poli delle diaclasi = 850,
 n. di poli delle faglie = 54, n. totale di poli = 1130



SCISTOSITA'				DIACLASI			
	10%	23	PUNTI	-	-----		
	8% - 10%	19-23	PUNTI	-	68-85	PUNTI	
	6% - 8%	14-19	PUNTI	-	51-68	PUNTI	
	4% - 6%	9-14	PUNTI	-	34-51	PUNTI	
	2% - 4%	4-9	PUNTI	-	17-34	PUNTI	

FIG. 1b - *Diagramma di contorno dei poli*

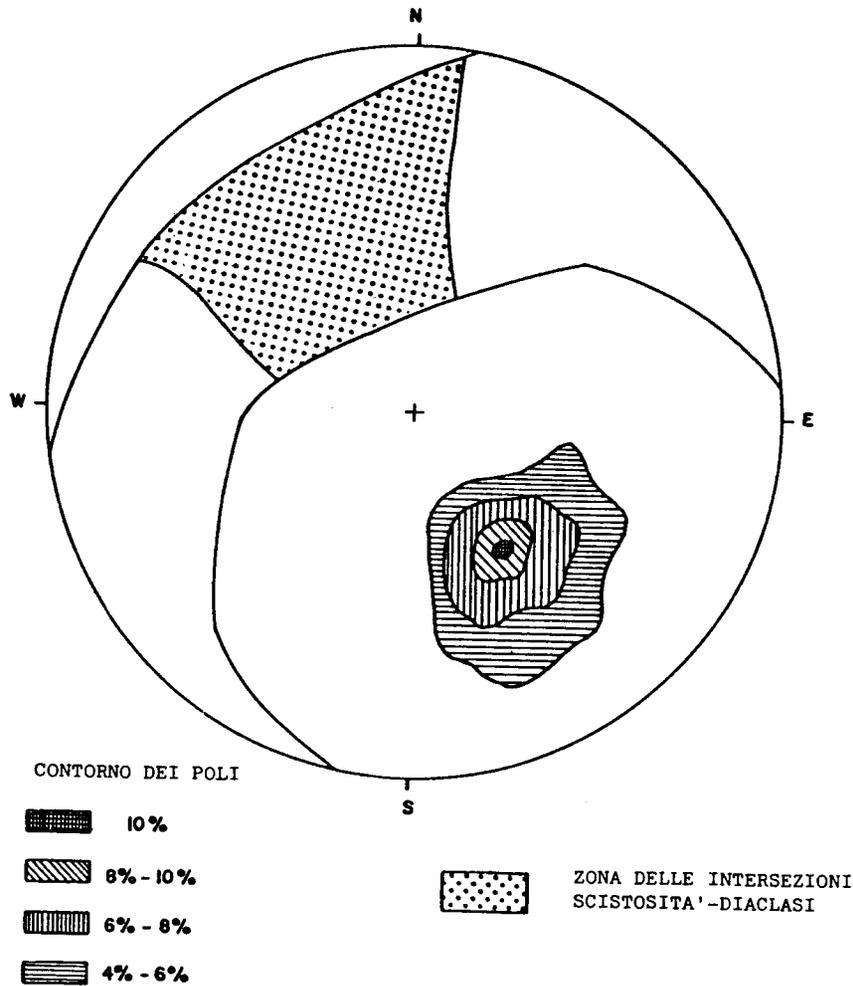


FIG. 2a - *Inviluppo dei piani di scistosità*

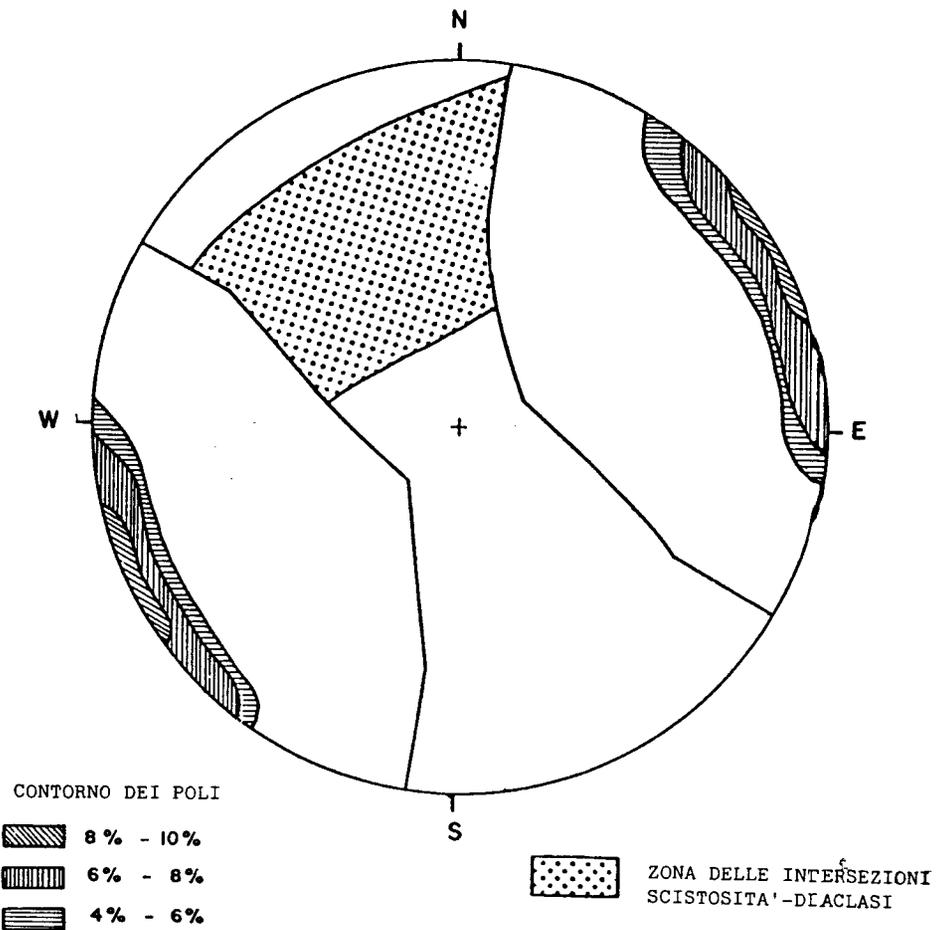


FIG. 2b - *Inviluppo dei piani delle diaclasi*

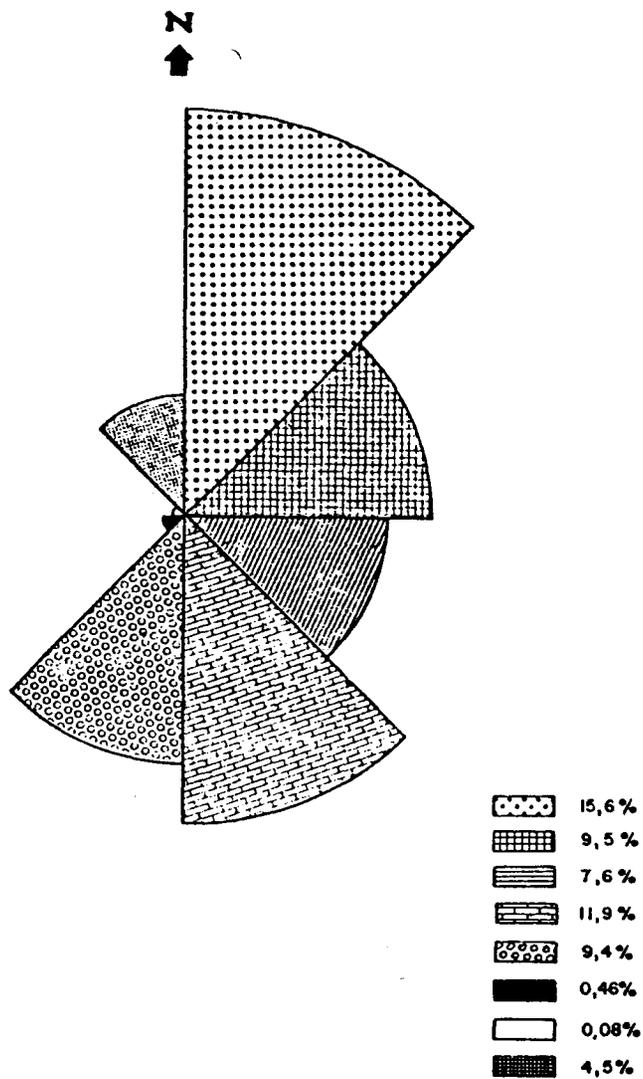


FIG. 3a - *Distribuzione della direzione dei pendii*
Superficie totale: circa 100 ettari

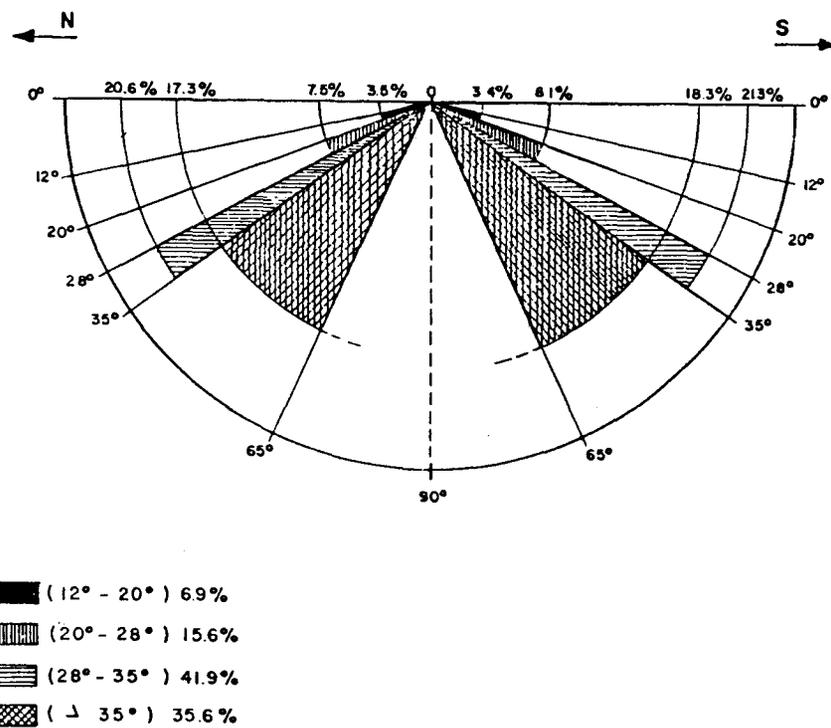
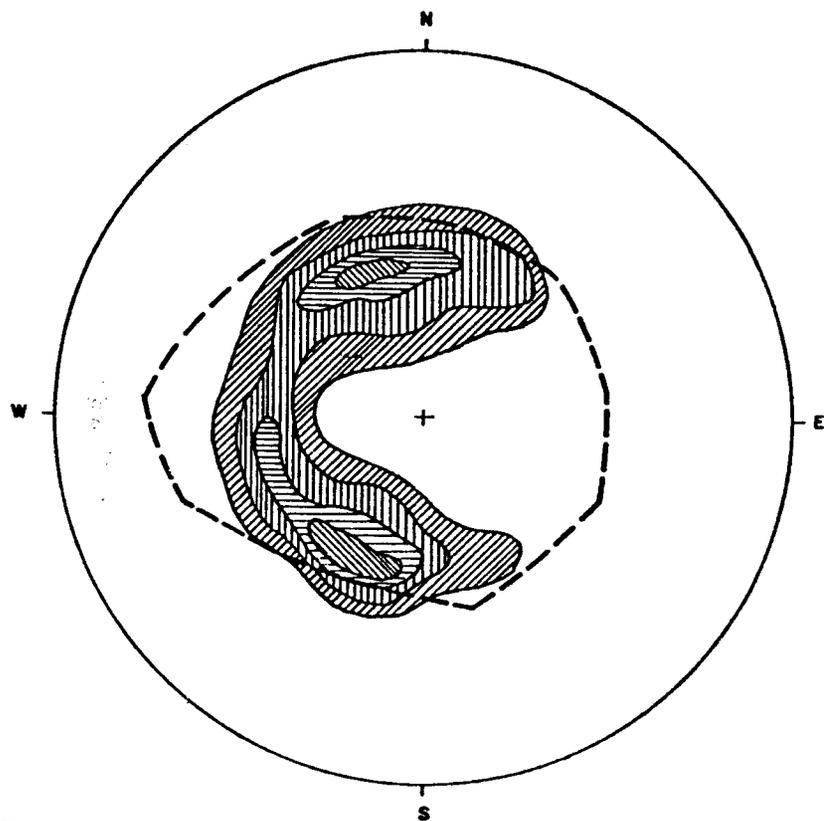


FIG. 3b - *Distribuzione dell'inclinazione dei pendii*



-  Δ 5%
-  4% - 5%
-  3% - 4%
-  2% - 3%

FIG. 4a - *Diagramma di contorno dei poli dei pendii ed inviluppo dei relativi piani*
(...) = inviluppo

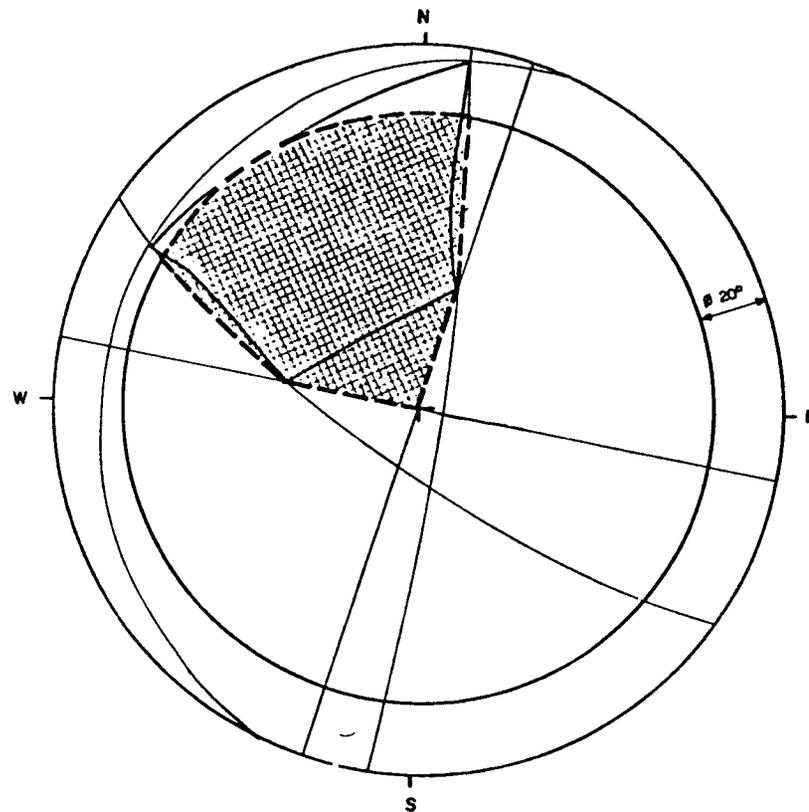


FIG. 4b - *Inviluppo dei piani dei pendii stabili in tratteggio l'area dei pendii potenzialmente instabili*

Il risultato è la Fig. 5 che, analizzata, ci consente le seguenti osservazioni:

a) l'area di localizzazione delle intersezioni scistosità-diaclassi potenzialmente instabili (che posseggono inclinazione minore di quella dei pendii) rappresenta circa il 50 % dell'area totale occupata da tali intersezioni;

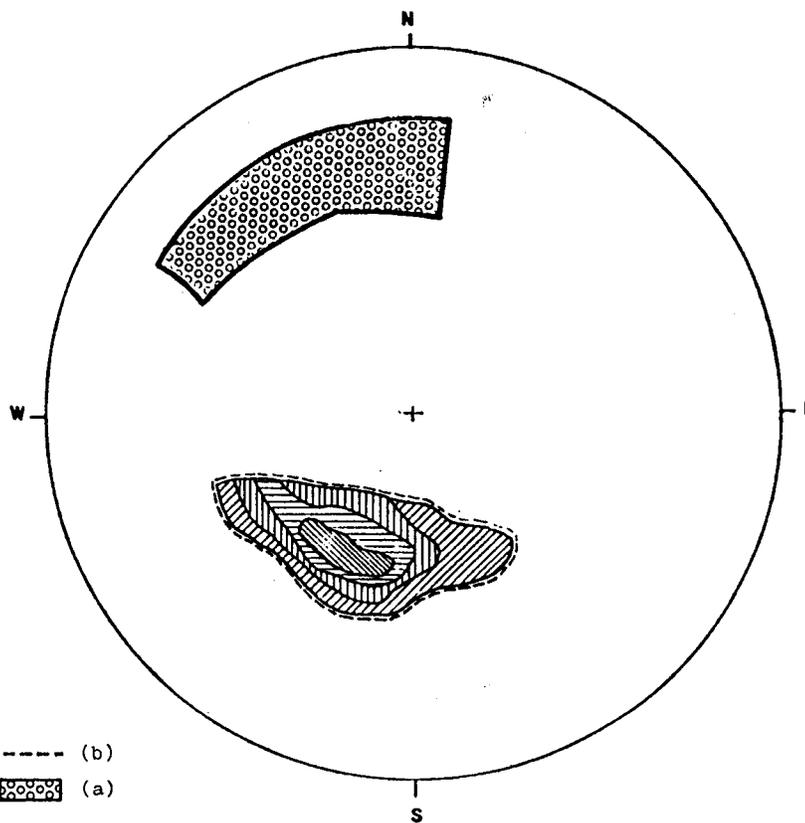
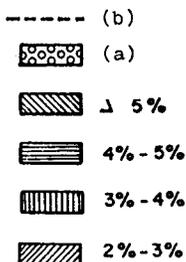


FIG. 5 - Diagramma di contorno dei poli dei pendii potenzialmente instabili

pendii probabilmente instabili 11% del totale,
a: zona delle intersezioni scistosità-diaclassi potenzialmente instabili (50% del totale),
b: contorno dei poli dei pendii potenzialmente instabili (22% del totale)



b) l'area di contorno dei poli di pendii potenzialmente instabili (che posseggono, cioè inclinazione maggiore delle linee dei cunei) rappresenta circa il 22 % dell'area totale di contorno dei poli dei pendii;

c) come conseguenza di a) e b) i pendii probabilmente instabili (per i quali, cioè, si verificano contemporaneamente le due condizioni sfavorevoli) saranno circa l'11 % dell'area complessiva studiata (ovviamente solo di tutti quelli riportati nel diagramma di contorno dei poli e corrispondenti a inclinazioni superiori a 20°).

A questo punto si dovrebbe ripetere il procedimento analitico, illustrato per ciò che riguarda la stabilità dei cunei strutturali, anche per l'analisi di stabilità dei due sistemi di discontinuità presenti, considerati separatamente, seguendo esattamente gli stessi passi descritti.

Nel caso in esame queste ulteriori analisi rivestono una importanza secondaria

per il fatto che da un lato le diaclasi sono sub-verticali e dall'altro le scistosità danno luogo a situazioni di instabilità coincidenti con quelle già individuate dai cunei. Conseguentemente, quanto indicato nel precedente punto c) non subisce variazioni significative né qualitativamente né quantitativamente.

Una volta sviluppato l'aspetto quantitativo del problema, non resta che trasferirlo all'area in studio per ricavarne risultati applicativi. Quest'ultima operazione della fase di zonificazione generale, relativa al problema della stabilità geostrutturale dei pendii, è immediata considerando che si possiedono già tutte le informazioni necessarie. I risultati sono riportati nell'illustrazione di figura 6 che è stata denominata « Mappa dell'analisi di stabilità », che riassume tutti i principali aspetti del problema, precedentemente esaminati.

Per lo studio pratico qui illustrato si sarebbe potuta realizzare una zonificazione più dettagliata, cioè adottando un maggior numero di classi, ciò che sarebbe stato possibile per la grande quantità di dati disponibili; si è però preferito utilizzare una zonificazione con solo tre classi, in considerazione del grado di precisione disponibile e soprattutto dei fini pratici dell'uso di questo tipo di analisi. Si è ritenuto, in altre parole, che una suddivisione più dettagliata in questa fase e alla scala dello studio sarebbe forse risultata una pura speculazione accademica.

Si sono utilizzate le seguenti classi di zonificazione:

a) zone di potenziale instabilità geometrico-strutturale; che comprendono pendii con direzione *sub-parallela* a quella delle strutture di scistosità e che si immergono con un angolo maggiore di 28° nello stesso verso delle scistosità.

Queste zone comprendono inoltre pendii con inclinazione superiore a 28° , sulla cui superficie affiorano linee di intersezione di discontinuità con direzione *sub-ortogonale* alla direzione del pendio; così come pure pendii con inclinazione maggiore di 35° sulla cui superficie affiorano linee di intersezione di discontinuità con direzione *non perpendicolare* alla direzione del pendio.

b) Zone di potenziale instabilità geometrico-strutturale ridotta; comprendono pendii con inclinazione maggiore di 35° e sulla cui superficie possono eventualmente affiorare linee di intersezione di discontinuità con direzione *sub-parallela* alla direzione del pendio. Sono pure compresi pendii con inclinazione superiore a 28° sulla cui superficie affiorano discontinuità con direzione *non parallela* alla direzione del pendio.

c) Zone di stabilità geometrico-strutturale; che comprendono pendii con inclinazione minore di 28° ed altri con inclinazione superiore, orientati in modo tale da non permettere condizioni cinematiche di instabilità per la giacitura favorevole delle strutture geologiche.

Nella Fig. 6 sono pure rappresentati i risultati dell'analisi dettagliata di stabilità realizzata come seconda fase dello studio mediante il calcolo del fattore di sicurezza per tutti quei pendii ubicati nelle zone critiche definite nella prima fase della zonificazione generale. Non è nei propositi di questa esposizione entrare nei dettagli di questa analisi, gli stessi, d'altra parte, che si sono realizzati utilizzando le metodologie ormai notissime dei calcoli emisferici grafici, assumendo per ogni discontinuità i rispettivi parametri di resistenza al taglio (coesione ed attrito).

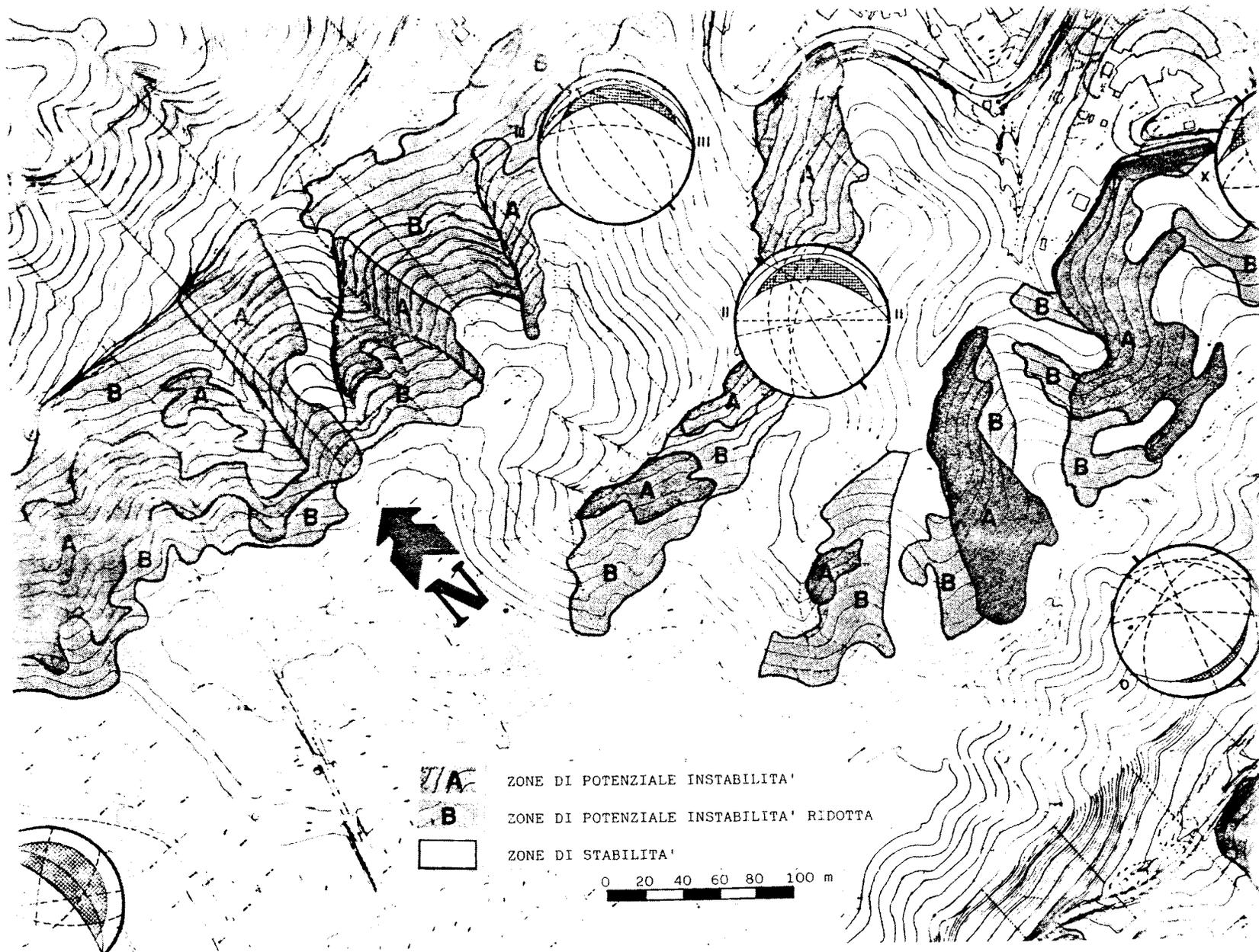


FIG. 6 - Mappa della stabilità geostrutturale

CONCLUSIONE

Si è presentata, con applicazione ad un caso reale, una metodologia per la zonificazione del territorio rispetto al problema della stabilità geostrutturale dei pendii in un mezzo roccioso caratterizzato dall'esistenza di superfici di minor resistenza e comportamento eminentemente anisotropo (discontinuità).

La metodologia, basata sull'uso della tecnica delle proiezioni stereografiche, si inquadra nella problematica più ampia della zonificazione dei rischi geologici di un territorio, rispetto alla quale costituisce solo uno degli aspetti fondamentali.

Il risultato prodotto con l'analisi di stabilità geostrutturale è, in effetti, di per sé stesso insufficiente ad una definizione completa del problema.

In pratica si tratta di un'analisi che risulta comodo definire di tipo « freddo », per sottolineare che non prende in considerazione i fattori geomorfologici in tutta la loro ampiezza e soprattutto in tutti i loro aspetti relativi alla degradazione e alterazione superficiali e profonde, agli interventi naturali ed artificiali, al controllo delle acque, alla presenza di superfici boschive, etc.

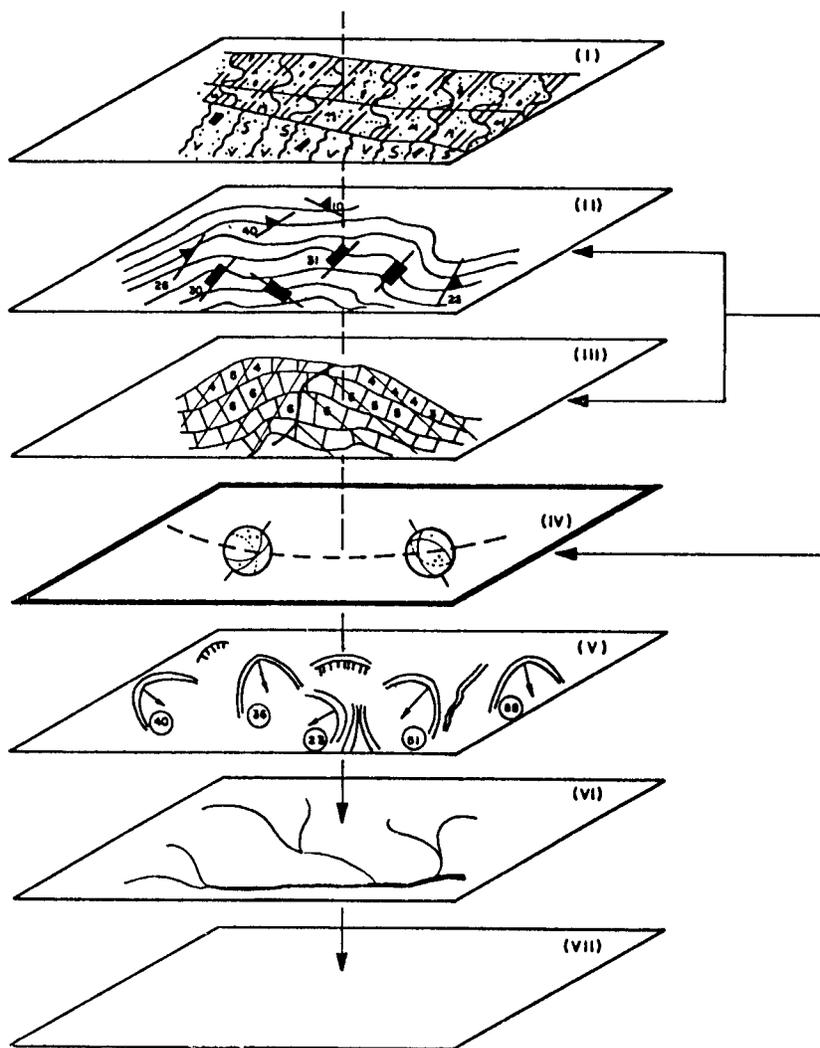


FIG. 7 - Analisi sequenziale dei dati per la realizzazione della carta di zonificazione dei rischi geologici:

(I) litologia, (II) struttura e faglie, (III) carta dei pendii, (IV) stabilità geostrutturale, (V) geomorfologia, (VI) reticolo idrografico, (VII) carta di zonificazione dei rischi

Per lo studio complessivo della zonificazione dei rischi geologici nel caso in esame, sono stati dettagliatamente analizzati i fattori litologici ed essenzialmente morfologici dell'area elaborando appositamente una mappa di « Zonificazione morfologica » (analisi di tipo « caldo ») oltre ad una mappa « Geologico-strutturale » ed una del « Reticolo idrogeologico ». Queste, sommate e integrate con le mappe « Topografica » e di « Analisi di stabilità », qui illustrata, rappresentano infine l'insieme degli aspetti che permettono di elaborare la mappa della « Zonificazione dei rischi geologici », che è il risultato perseguito (Fig. 7).

BIBLIOGRAFIA

- AGUERREVERE, S. E. y ZULOAGA, G.: « Observaciones geológicas ed la parte central de la cordillera de la costa », *Bol. Geol. y Min.*, Caracas, Tomo I, Nos. 24, 1937.
- GOODMAN R.: *Methods of geological engineering in discontinuous*, West Publishing Co., New York, 1976.
- HOEK, E. y BRAY, J. W.: « Rock slope engineering », *Institution of mining and metallurgy*, London, 1977.
- PERRI, G.: « La cohesión en el análisis estereográfico de estabilidad de taludes », *Revista Latinoamericana de Geotecnia*, Caracas, Vol. V, n. 2, 1979.