

ILARIA NARDI (*)

STRATIFICAZIONE E MORFOLOGIA DEI VERSANTI: DELIMITAZIONE AUTOMATICA DELLE AREE OMOGENEE IN UN SISTEMA INFORMATIVO TERRITORIALE

ABSTRACT: NARDI I., *Stratification and morphology of the slopes: a methodology for an automatic delimitation of homogeneous areas in a Geographical Information System.* (IT ISSN 0391-9838, 1996).

There is presentation of a technique for the automatic identification of areas characterized by homogeneous placing of strata with respect to slope orientation.

The model, which uses a «raster» type data structure, consists of the studied combination of 4 grids which represent respectively:

- areas with homogenous immersion of strata
- areas with homogenous strata inclination
- areas with homogenous slope orientation
- areas with homogenous slope angle

The technique presented supplies, automatically, numerical and cartographic data regarding one of the fundamental parameters used for the production of thematic maps of the types «slope stability» or «geological hazard».

The experiment, carried out within the context of ARC/INFO, was done covering a significant area of the «Carta Geologica dell'Isola d'Elba» (Geological Map of the Island of Elba) (CNR, 1967).

KEY WORDS: SIT-GIS, Slope, Raster, DTM, Stratification.

RIASSUNTO: NARDI I., *Stratificazione e morfologia dei versanti: delimitazione automatica delle aree omogenee in un Sistema Informativo Territoriale.* (IT ISSN 0391-9838, 1996).

Viene presentata una metodologia messa a punto per l'individuazione automatica di aree caratterizzate da omogenee disposizioni degli strati nei confronti dell'orientamento dei versanti. Il modello, che utilizza una struttura di dati di tipo «raster», consiste nella combinazione ponderata di 4 griglie che rappresentano rispettivamente:

- aree con omogenea immersione degli strati;
- aree con omogenea inclinazione degli strati;
- aree con omogeneo orientamento dei versanti;
- aree con omogenea acclività.

La metodologia presentata fornisce, in maniera automatica, la restituzione numerica e cartografica di uno dei parametri fondamentali utilizzati per la realizzazione di carte tematiche del tipo «stabilità dei versanti» o «pericolosità geologica».

L'esperimento, realizzato in ambiente ARC/INFO, è stato realizzato

su un'area significativa della «Carta Geologica dell'Isola d'Elba» (C.N.R., 1967).

TERMINI CHIAVE: SIT-GIS, Slope, Raster, DTM, Stratificazione.

INTRODUZIONE

In questa nota viene presentata una metodologia automatica, quale supporto di base per cartografie tematiche del tipo «Carte della stabilità dei versanti o della pericolosità geologica», che individua e delimita aree caratterizzate da varie disposizioni geometriche degli strati nei confronti dell'orientamento dei versanti, utilizzando un Sistema Informativo Territoriale (SIT-GIS - *Geographical Information System*).

La classificazione del territorio in termini di pericolosità geologica distingue, come è noto, le aree con diversa propensione al dissesto: l'instabilità di un versante viene messa in relazione sia con le caratteristiche litologiche e litotecniche dei terreni che lo costituiscono, sia con la sua acclività. Nei terreni e nelle rocce stratificate o interessate da altri tipi di discontinuità, un ulteriore importante fattore di instabilità è rappresentato dalla disposizione geometrica delle superfici di strato (o di discontinuità strutturale) in rapporto alla configurazione del versante.

Sulla carta geologica la giacitura degli strati (o della scistosità) è rappresentata da un'apposita simbologia convenzionale che comprende direzione, immersione e inclinazione della superficie considerata, nel punto dove è stata effettuata la misura. Tale misura, messa in relazione con la forma del versante (individuabile dall'andamento delle curve di livello) rende immediato il concetto di assetto di strati a *reggipoggio* o a *franapoggio s.l.*, rispettivamente se la disposizione degli strati immerge contro il pendio o come il pendio. Da un punto di vista della stabilità del versante, a parità di caratteristiche litotecniche e di acclività, risultano più stabili i versanti dove esiste un assetto a «reggipoggio» o, in subordine, con immersione degli strati come il pendio ma con inclinazione maggiore di questo (*contropoggio*). Situazioni di stabilità si hanno anche nei casi di strati

(*) *Consorzio Pisa Ricerche - Piazza D'Ancona n. 1 - Pisa.*

Lavoro eseguito con i fondi del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del C.N.R. - Linea 2: Eventi franosi a grande rischio. Pubbl. n. 1585, U.O. 13 (Resp. Prof. P.R. Federici).

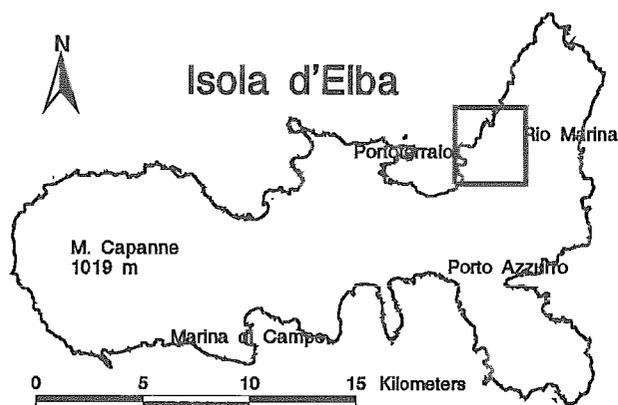


FIG. 1 - Area oggetto di studio nell'Isola d'Elba.

FIG. 1 - The study area in the Island of Elba.

o superfici disposti orizzontalmente o verticalmente, a prescindere, naturalmente, dal considerare i fattori di instabilità dovuti ad altre cause, quali, in particolare, lo scalzamento alla base del versante o altri motivi geomorfologici (G.N.G.F.G., 1993).

La metodologia che viene proposta in questa nota rende automatica l'individuazione delle situazioni «reggipoggio», «traverpoggio», «franapoggio»: entro quest'ultima viene distinta anche la situazione «contropoggio»⁽¹⁾. Le tecnologie informatiche GIS, per la loro capacità di analizzare, modellare e integrare dati georeferenziati, costituiscono oggi un efficace strumento di previsione e controllo del territorio (cfr. CLERICI & *alii*, 1993). L'uso del GIS nelle operazioni di analisi e modellazione richiede, però, una particolare attenzione sul tipo di dati in ingresso, al fine di evitare che vengano prodotti modelli finali sicuramente di effetto, ma troppo spesso non attinenti la realtà e, perciò, di fatto non utilizzabili. Per valutare se la metodologia automatica restituisca effettivamente un prodotto corretto dal punto di vista cartografico, l'esperimento è stato condotto utilizzando un frammento significativo di una carta geologica numerica, acquisita alla scala 1:25.000, nel quale le «coperture detritiche» risultano subordinate rispetto alla componente geologica e stratigrafico-strutturale in s.s., dalla quale derivano i dati significativi di ingresso.

L'esperimento è stato condotto utilizzando il *software* Arc/Info (vers. 7.0.3), installato su Workstation DIGITAL (DEC 3000 Modello 300 AXP ALPHA) in ambiente UNIX.

AREA DI STUDIO

L'area oggetto del presente studio, posta nei comuni di Portoferraio e Rio nell'Elba (Isola d'Elba, Prov. di Livorno), si estende per circa 6 km² in un territorio che comprende in parte una fascia costiera, in parte un'area collinare, con quote che variano da 0 m a circa 490 m s.l.m. (fig. 1).

⁽¹⁾ La definizione di queste situazioni geometriche e la loro terminologia è ripresa da AMADESI & *alii* (1977); AMADESI & VIANELLO (1978, 1985).

DATI DI INGRESSO NEL MODELLO

Dati geologici

I dati geologici provengono dalla numerizzazione della «Carta Geologica dell'Isola d'Elba» - Foglio Orientale - CNR (1967), alla scala 1.25.000, riferiti al sistema nazionale di coordinate Gauss-Boaga. Le formazioni affioranti nell'area in esame, codificate con opportune sigle, appartengono alla serie giurassico-cretacea («Complesso IV» della Carta Geologica) e a terreni quaternari (tab. 1 e carta geologica di tav. I).

TABELLA 1 - Le formazioni geologiche affioranti nell'area in esame (dalla legenda della «Carta Geologica dell'Isola d'Elba - Foglio Orientale» - C.N.R., 1967)

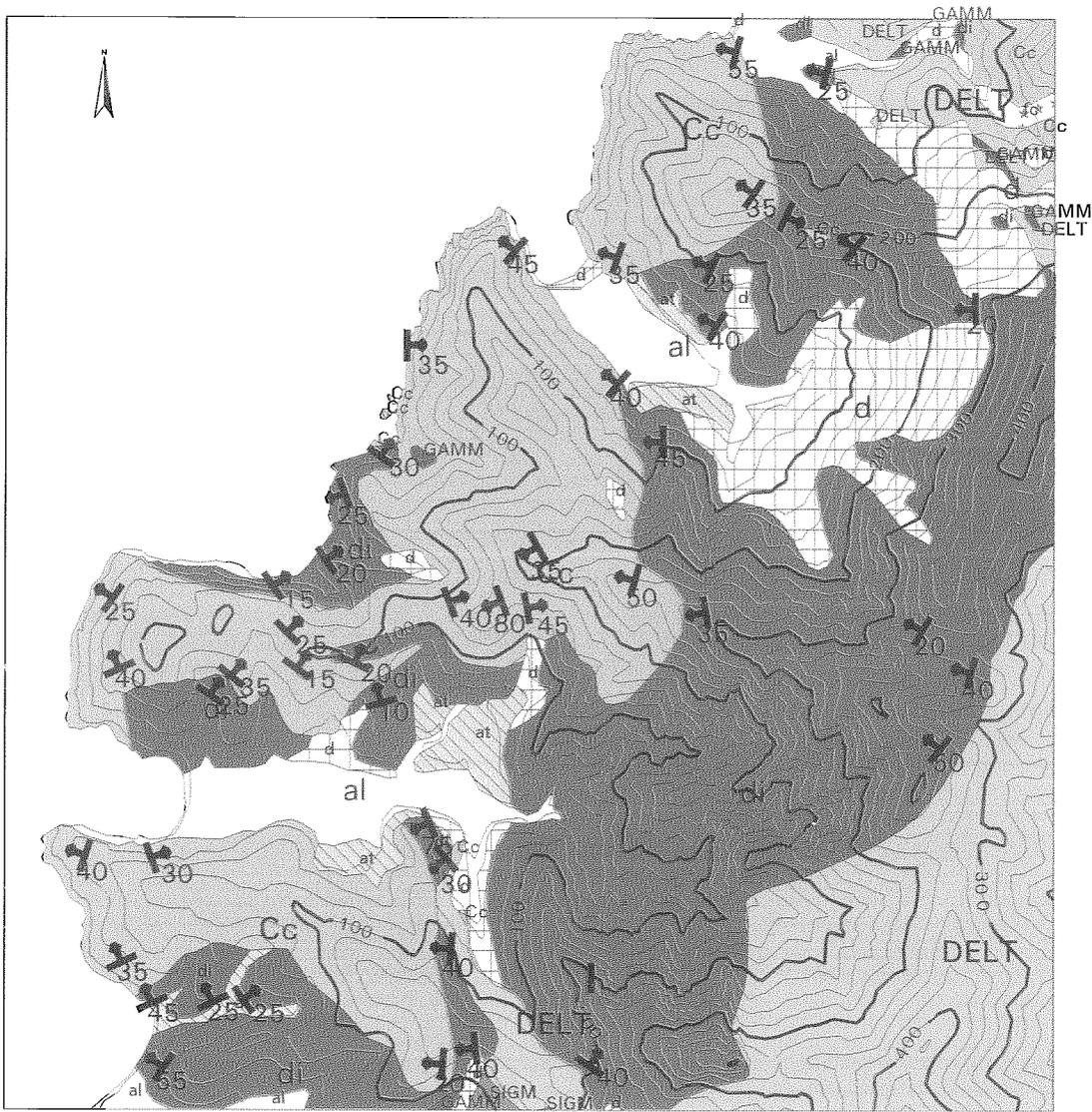
TABLE 1 - The geological formations in the study area (from: «Carta Geologica dell'Isola d'Elba - Foglio Orientale» - C.N.R., 1967)

Unità Tettoniche	Descrizione	Sigla
Depositi Quaternari	Frane di Calcarei a Calpionelle	fc
	Detriti	d
	Depositi alluvionali recenti	al
	Depositi alluvionali antichi	at
Complesso IV	Calcarei compatti grigi, verdastri e rosei a Calpionelle con liste di selce	Cc
	Radiolariti calcarifere	di
	Diabasi in pillows e massicci con ialoclastiti associate	Δ
	Gabbri	Γ
	Serpentine lherzolitiche e harzburgitiche	Σ

I punti relativi alle 47 misure di strato riportate sulla carta sono stati digitalizzati e codificati opportunamente con i relativi valori di direzione, immersione e inclinazione. Ovviamente tali misure si riferiscono esclusivamente alle formazioni stratificate che, localmente, sono rappresentate dalle Radiolariti (di) e dai Calcarei a Calpionelle (Cc).

È stato quindi ritenuto opportuno suddividere le formazioni del «Complesso IV» in *formazioni massive* (comprendenti i gabbri [Γ] e i diabasi [Δ]) e *formazioni stratificate* (comprendenti i Calcarei a Calpionelle [Cc] e le radiolariti [di]).

TAVOLA I - CARTA GEOLOGICA - Scala 1:25.000

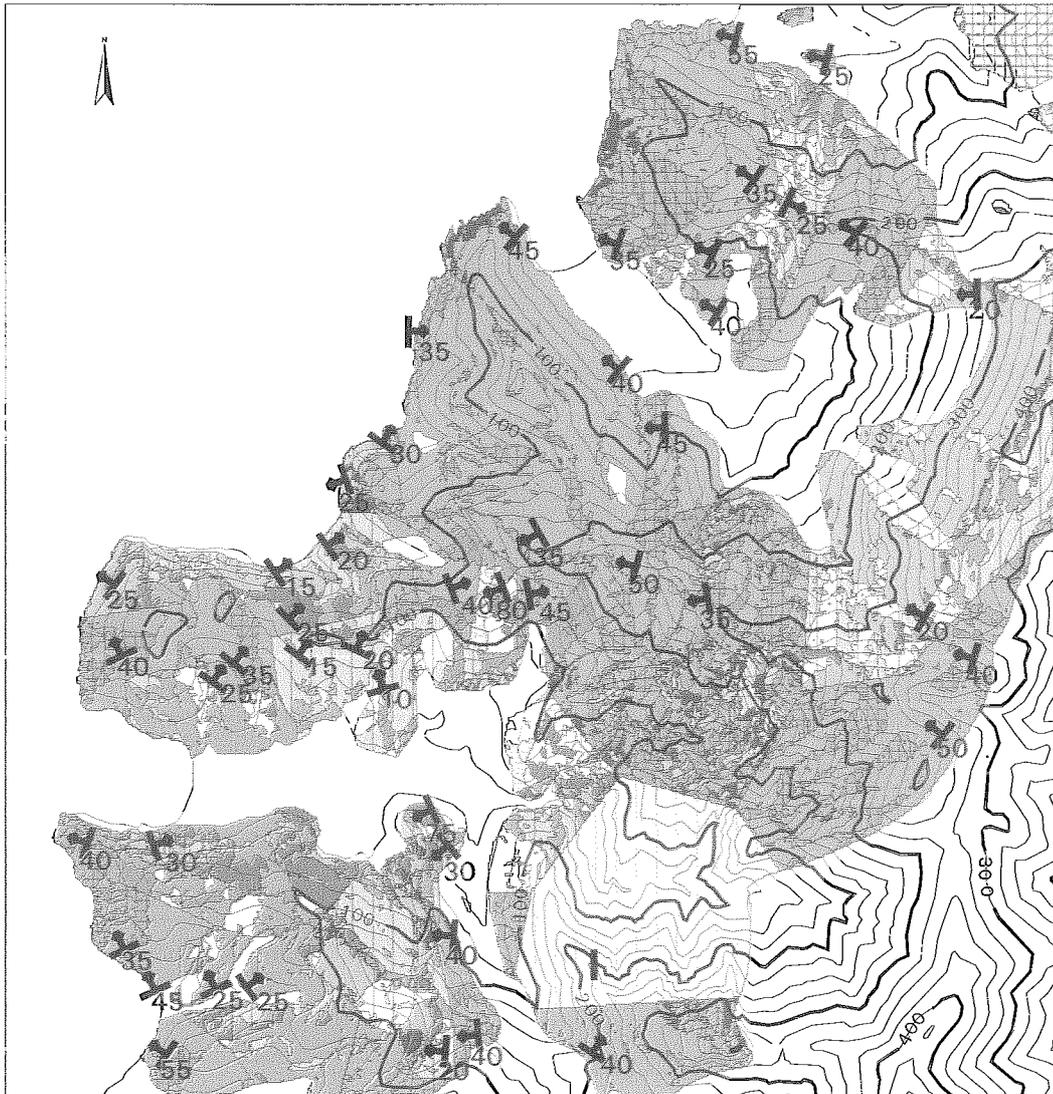


Depositi Quaternari

Complesso IV

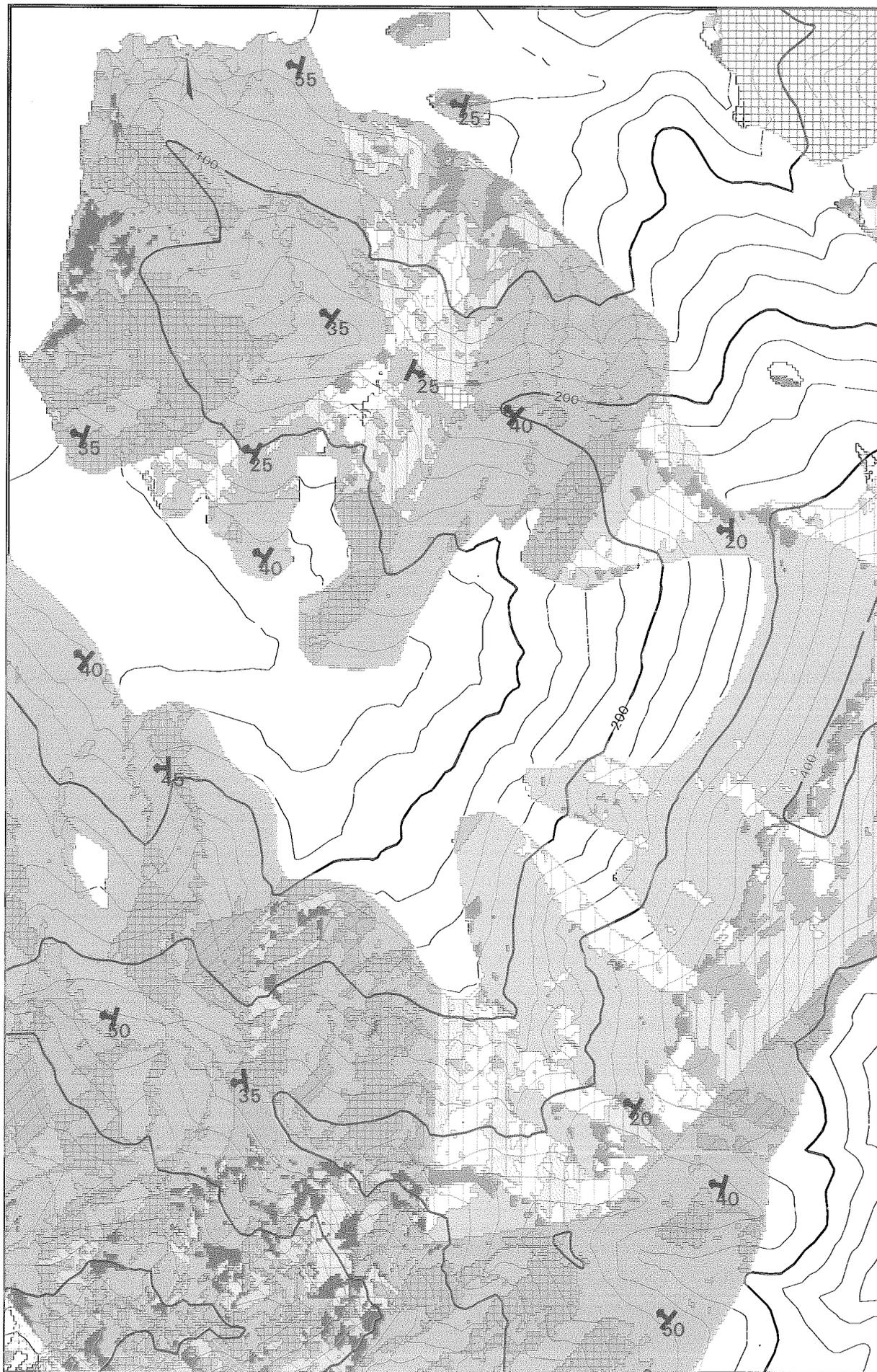
- | | | | |
|--|-------------------------------------|--|---|
| | Frane di Calcari a Calpionelle [fc] | | Calcari compatti grigi, verdastri e rosei a Calpionelle con liste di selce [Cc] |
| | Detriti [d] | | Radiolariti calcarifere [di] |
| | Depositi alluvionali recenti [al] | | Diabasi in pillows e massicci con ialoclastiti associate [DELT] |
| | Depositi alluvionali antichi [at] | | Gabbri [GAMM] |
| | misure di strato | | Serpentine lherzolitiche e harzburgitiche [SIGM] |

TAVOLA II - AREE A FRANAPOGGIO, REGGIPOGGIO, CONTROPOGGIO E TRAVERPOGGIO - Scala 1: 25.000



- | | | | |
|--|--|--|--|
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (32) | | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (53) |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (33) | | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (55) |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (34) | | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (57) |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (35) | | Aree con stratificazione conforme al pendio, con inclinazione degli strati minore del pendio e compresa fra 0 e 30 gradi ("franapoggio s.s.") |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (36) | | Aree con stratificazione conforme al pendio, con inclinazione degli strati minore del pendio e compresa fra 30 e 60 gradi ("franapoggio s.s.") |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (37) | | Aree con stratificazione conforme al pendio ma con inclinazione degli strati uguale a quella del pendio ("franapoggio s.s.") |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (42) | | Aree con stratificazione conforme al pendio ma con inclinazione degli strati maggiore del pendio ("contropoggio") |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (43) | | Aree con stratificazione contraria a quella del pendio ("reggiopoggio") |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (44) | | Aree con stratificazione verticale |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (45) | | Aree con stratificazione orizzontale |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (46) | | Aree prive di stratificazione |
| | Aree con stratificazione a "traverpoggio" (47) | | 60 misure di strato |

TAVOLA III - PARTICOLARE DI UN'AREA DELLA TAVOLA II - Scala 1:10.000



Successivamente è stato affrontato il problema di derivare, dalla copertura puntuale delle misure di strato, una copertura poligonale che individuasse le aree considerate a giacitura omogenea. In un primo momento, in modo automatico, è stata utilizzata una specifica funzione di Arc/Info che converte una copertura di punti in una copertura di poligoni prossimali (o di Thiessen o di Voronoi). L'omogeneità di queste aree è stata, in un secondo momento, verificata con l'interpretazione geologica, per valutare se la procedura automatica avesse definito correttamente l'estensione di tali aree. Nel caso specifico, poiché la disposizione delle misure di strato è abbastanza omogenea ed esse sono presenti in numero sufficiente rispetto all'estensione e alla scala dei dati in ingresso e concordano con l'interpretazione della struttura geologica, la definizione automatica di tali aree è risultata essere sufficientemente congruente con la realtà geologico-stratigrafica.

Da questa copertura vettoriale sono state estratte due griglie che rappresentano, rispettivamente, le aree a immersione e inclinazione omogenea e che sono quelle che successivamente sono state inserite nel modello.

Dati in ingresso, DTM e griglie di acclività e di esposizione dei versanti

I dati utilizzati nel processo di interpolazione per la creazione del DTM (*Digital Terrain Model*), e cioè curve di livello e punti quotati in formato numerico, dal quale è stata successivamente elaborata la griglia dell'acclività e dell'esposizione dei versanti, provengono dalla Cartografia Tecnica della Regione Toscana alla scala 1:5.000; anche essi sono riferiti al sistema nazionale di coordinate Gauss-Boaga ⁽²⁾.

In particolare è stata utilizzata una copertura vettoriale, in cui sono rappresentate le curve di livello con equidistanza di 5 metri e i punti quotati, relativamente all'estensione di tutta l'Isola d'Elba. Ad ogni curva di livello è associato un attributo che rappresenta la quota. Allo stesso modo ogni punto quotato è identificato da un'etichetta ed ha associato un valore per la rispettiva quota.

I dati in ingresso per il processo di interpolazione sono risultati non ugualmente distribuiti sul territorio, essendo più densamente rappresentati da curve di livello nelle aree più acclivi e da punti isolati nelle aree morfologicamente più piatte. Comunque, l'accuratezza del dato in ingresso può essere assunta pari a 5 metri in altezza.

Con questi dati è stato inizialmente costruito un modello digitale vettoriale di tipo TIN (*Triangulated Irregular Network*) che, utilizzando una base di punti di coordinate x, y e di quota z irregolarmente spazati, costruisce elementi triangolari, non sovrapposti e adiacenti con vertici posti sui punti in ingresso. Il mosaico di triangoli costituisce una superficie continua faccettata. Tale modello digita-

le vettoriale è stato successivamente convertito in formato a griglia DTM tramite processi di interpolazione, con cella di risoluzione di 5 metri di lato. Dal modello digitale del terreno, costruito sulla base di quanto sopra esposto, sono state, in un secondo momento, derivate le due griglie di acclività (*slope*) e di esposizione (*aspect*) dei versanti, con una cella di risoluzione di 5 metri di lato.

METODOLOGIA

Il modello utilizza una struttura di dati di tipo *raster* e consiste nella combinazione ponderata di quattro griglie che rispettivamente rappresentano:

- una griglia (*pixel* 5 metri) di esposizione dei versanti (*aspect*) in cui ogni cella ha associato il valore codificato in gradi da 0 a 360, positivi in senso orario;

- una griglia (*pixel* 5 metri) in cui ogni cella ha associato il valore di acclività dei versanti (*slope*), codificato in gradi da 0 a 90;

- una griglia (*pixel* 5 metri), derivata dalla copertura poligonale che individua le aree a disposizione geometrica omogenea degli strati, in cui ogni cella ha associato il valore di immersione degli strati, codificato in gradi da 0 a 360, positivi in senso orario (cioè comparabilmente alla griglia dell'*aspect*);

- una griglia (*pixel* a 5 metri), derivata dalla copertura poligonale, che individua le aree a disposizione geometrica omogenea degli strati, in cui ogni cella ha associato il valore di inclinazione degli strati, codificato in gradi da 0 a 90.

Il modello individua le aree caratterizzate da omogenee giaciture degli strati rispetto ai versanti (reggipoggio, franapoggio s.l., traverpoggio) attraverso il solo calcolo, cella per cella, dell'angolo (misurato su un piano orizzontale) che i vettori «esposizione» e «immersione» formano tra loro. Pertanto si possono verificare le seguenti situazioni:

1) Se l'angolo tra l'esposizione e l'immersione degli strati è uguale a 0 (cioè se il vettore che individua l'esposizione del versante e quello che individua l'immersione dello strato hanno la stessa direzione e lo stesso verso), tale area sarà interpretata come un **franapoggio s.l.**

2) Se l'angolo tra l'esposizione e l'immersione dello strato hanno la stessa direzione ma verso opposto), tale area sarà interpretata come un **reggipoggio**.

3) Se l'angolo tra l'esposizione e l'immersione degli strati assume valori intermedi, cioè esiste un'obliquità tra l'esposizione del versante e l'immersione degli strati, tale area sarà interpretata come un **traverpoggio**.

In un secondo momento, confrontando l'inclinazione dello strato con l'acclività del pendio e misurando tale angolo su un piano verticale (cioè l'angolo che la superficie di strato forma con la superficie topografica), si potranno distinguere, all'interno delle aree a franapoggio s.l., le seguenti situazioni:

- **franapoggio s.s.**, se l'inclinazione degli strati è minore o uguale a quella del pendio (nella situazione di franapoggio s.s. saranno distinte, ulteriormente, le aree in cui l'inclinazione degli strati è compresa fra 0 e 30, fra 30 e 60, fra 60 e 90 gradi).

⁽²⁾ Nella generazione di DTM è importantissima la scelta dei dati per la qualità del modello. I dati dovrebbero consistere di osservazioni sul terreno riguardo la quota e di informazioni addizionali sui fenomeni che influenzano in maniera significativa la forma del territorio come, ad esempio, spartiacque, reti idrografiche, linee di faglia, ecc.

TABELLA 2 - Codifiche assegnate alle varie condizioni di giacitura degli strati rispetto al versante nel caso di «traverpoggio». Tali numeri compaiono nella legenda di tav. II e di tav. III

TABLE 2 - Codes of the strata layering compared to the slope in the case of the numbers are in the legend of the tav. II and of tav. III

Inclinazione degli strati ↓	Angolo fra l'immersione degli strati e l'esposizione →	0-10 gradi	10-60 gradi	60-90 gradi	> 90 gradi
	Differenza fra l'inclinazione degli strati e l'acclività del versante (γ) ↓				
0-5 gradi	$\gamma < 0$	20	22	24	26
	$\gamma > 0$	21	23	25	27
5-30 gradi	$\gamma < 0$	30	32	34	36
	$\gamma > 0$	31	33	35	37
30-60 gradi	$\gamma < 0$	40	42	44	46
	$\gamma > 0$	41	43	45	47
60-85 gradi	$\gamma < 0$	50	52	54	56
	$\gamma > 0$	51	53	55	57
> 85 gradi	$\gamma < 0$	60	62	64	66
	$\gamma > 0$	61	63	65	67

- **contropoggio**, se l'inclinazione degli strati è maggiore di quella del pendio.

Infine all'interno delle aree a traverpoggio, verranno distinte varie combinazioni di obliquità fra l'immersione degli strati e l'esposizione dei versanti in rapporto, anche, sia all'angolo fra l'acclività del pendio e l'inclinazione degli strati, sia al valore dell'inclinazione stessa (tab. 2 e Tav. II).

La valutazione della correttezza di questo metodo può essere verificata confrontando sulla carta il risultato dell'elaborazione automatica rispetto all'andamento delle curve di livello e alla giacitura degli strati (Tav. II). Come si vede nella Tav. II, esiste una corrispondenza fra le aree individuate dal modello e quelle che sono facilmente interpretabili dalla struttura geologica.

CONCLUSIONI

La metodologia esposta in questa nota rende automatica la delimitazione e l'individuazione di aree a franapoggio, contropoggio, reggipoggio e traverpoggio, distinguendo, entro quest'ultima, ulteriori diversi casi di obliquità fra l'esposizione dei versanti e l'immersione degli strati. L'informazione numerica, molto dettagliata, che risulta dall'elaborazione automatica, può essere successivamente utilizzata come uno dei parametri fondamentali per la realizzazione di una cartografia della stabilità dei versanti o della pericolosità geologica, utilizzando un Sistema Informativo

Territoriale. La metodologia sperimentata è basata su una serie di elaborazioni automatiche relativamente semplici, ma richiede una corretta preparazione e interpretazione dei dati geologici in ingresso. Infatti, la fase principale per l'utilizzo corretto di tale metodologia e per la qualità del prodotto finale resta l'interpretazione della struttura geologica affiorante nell'area di studio.

BIBLIOGRAFIA

- AMADESI E. & VIANELLO G. (1978) - *Nuova guida alla realizzazione di una Carta della stabilità dei versanti*. Mem. Soc. Geol. It., 19, 53-60.
- AMADESI E. & VIANELLO G. (1985) - *Metodologia per la realizzazione di una Carta della stabilità*. Geol. Appl. Idrogeol., 20(2), 127-141.
- AMADESI E., VIANELLO G., BONFATTI F., PIGNONE R. & PRETI D. (1977) - *Guida alla realizzazione di una Carta della stabilità dei versanti*. Regione Emilia Romagna, Collana di orientamenti geomorfologici ed agronomico-forestali, Pitagora, Bologna.
- BARBERI F., GIGLIA G., INNOCENTI F., MARINELLI G., RAGGI G., RICCI C.A., SQUARCI P., TAFFI L. & TREVISAN L. (1967) - *Carta Geologica dell'Isola d'Elba - Foglio orientale*, Scala 1:25.000. C.N.R.-E.I.R.A., Firenze.
- CLERICI A., CUCCURU G., TRAMBAGLIO L. & LINA F. (1993) - *La realizzazione di una carta della stabilità dei versanti mediante l'uso di un sistema d'informazione geografica*. Geol. Tecn. Amb., 4, 25-40.
- GRUPPO NAZIONALE GEOGRAFIA FISICA E GEOMORFOLOGIA - *Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 16, 129-152.