

Cartografia geomorfologica di dettaglio e analisi statistica in ambiente GIS dei processi di versante nel bacino di Dessie (Wollo, Etiopia)

Large scale geomorphological mapping and GIS statistic analysis of the slope processes in the Dessie basin (Wollo, Ethiopia)

FUBELLI G. (*), VINCI S. (**), ABEBE B. (***), DRAMIS F. (*)

RIASSUNTO - Questo lavoro rappresenta un esempio di applicazione di metodologie GIS ai dati provenienti da rilevamento geomorfologico di dettaglio, svolto sul terreno alla scala 1:5.000 con l'ausilio dell'interpretazione di foto aeree multitemporali.

Lo studio ha riguardato il bacino di Dessie, un piccolo *graben* ubicato lungo il margine occidentale dell'Afar, in una provincia fisiografica caratterizzata dalla presenza di una serie di bacini delimitati da dorsali montuose e allineati all'incirca N-S e generati dall'estensione che ha coinvolto l'area a partire dal Miocene. Il rilevamento geomorfologico ha consentito di individuare all'interno del bacino numerose frane di tipologia e dimensioni differenti il cui impatto sul territorio è notevole considerato che buona parte dell'area è occupata dall'abitato di Dessie (circa 200.000 abitanti), una delle città più importanti dell'Etiopia. Il trattamento dei dati in ambiente GIS ha consentito l'analisi statistica della distribuzione dei fenomeni franosi e alla loro tipologia ed estensione in relazione alle principali unità lito-morfologiche presenti nell'area.

PAROLE CHIAVE: rilevamento geomorfologico, processi di versante, morfotettonica, analisi GIS, Etiopia.

Abstract - This paper provides an example of GIS analysis of data obtained by geomorphological field survey and mapping at 1:5.000 scale, supported by the interpretation of multitemporal air-photos.

The study has taken in exam the Dessie basin, a

small graben located on the western Afar margin, a physiographic province characterized by small N-S trending basins and mountain ranges, generated by the extension which has involved the area since the Miocene. The detailed geomorphological mapping of the basin allowed to recognize a large number of landslides of different typology and size. The environmental impact of these phenomena is extremely heavy taking in account that most of the basin floor is occupied by the Dessie town, one of the most important cities of Ethiopia with ca. 200.000 inhabitants. The GIS analysis of data allowed to relate the distribution, typology and extension in relation to the main litho-morphological units of the study area.

KEYWORDS: geomorphological mapping, slope processes, morphotectonic, GIS analysis, Ethiopia.

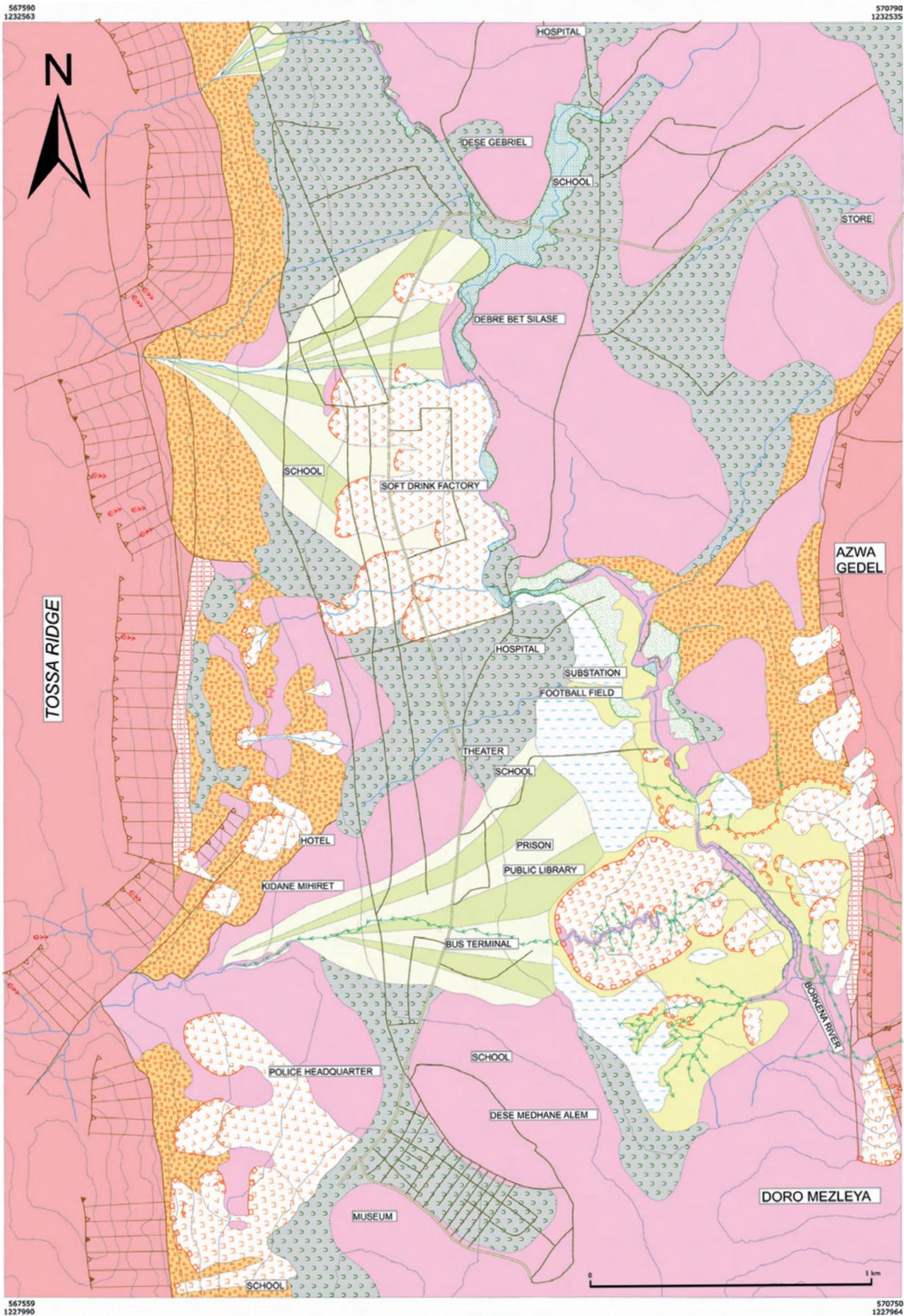
1. - INTRODUZIONE

Questo lavoro è una nota illustrativa della carta geomorfologica in scala 1:5.000 del bacino di Dessie (Wollo, Etiopia) realizzata nel corso del 2005 (fig. 1). La nota è stata integrata da considerazioni morfologico-statistiche ottenute attraverso l'impiego di *software* GIS.

(*) Dipartimento di Scienze Geologiche, Università "Roma Tre", largo S. Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma.

(**) INGV, Via Vigna Murata 605, 00143 - Roma

(***) Department of Earth Sciences, Addis Ababa University, P.O. Box 1176, Addis Ababa, Ethiopia



Il bacino di Dessie è una depressione tettonica di circa 7 km di lunghezza per 3 km di larghezza, posta a circa 2.500-2.650 m s.l.m., lungo il margine occidentale dell'Afar (fig. 2). L'area rilevata misura circa 1.500 Km² ed è occupata in buona parte dall'abitato di Dessie, una delle città più importanti dell'Etiopia con circa 200.000 abitanti (CENTRAL STATISTICS AGENCY, 1999).

Il bacino è allungato in direzione meridiana ed è percorso longitudinalmente, da nord verso sud, dal Fiume Borkena che si dirige poi a sud-est, verso la più bassa depressione di Kombolcha, lungo una stretta gola di oltre 300 m di profondità, chiamata "Doro Mezleya" (in amarico "Salto del Gallo"). La porzione sud-orientale del bacino è invece drenata dal Fiume Kelina, che affluisce nel Fiume Borkena più a sud, a valle di Kombolcha. Sotto l'aspetto climatico, l'area di Dessie è contraddistinta da ben distinte stagioni piovose e stagioni secche (GAMACHU, 1977; ETHIOPIAN MAPPING AUTHORITY, 1988). Secondo quanto riportato dall'Ethiopian Meteorological Agency la temperatura media mensile è di 18,5°C. I dati di piovosità registrati nel periodo compreso tra il 1974 e il 2004 mostrano che le precipitazioni più intense si hanno nei mesi di luglio e agosto, con medie annuali che raggiungono i 1600 mm, un terzo delle quali si concentra in questi mesi; un picco minore di piovosità si registra nei mesi di febbraio e marzo. Nonostante l'elevata quan-

tità di precipitazione la copertura vegetale lungo i versanti che bordano il bacino è scarsa, a causa della diffusa deforestazione avvenuta soprattutto in tempi recenti (PANKHURST, 1992).

L'evoluzione geomorfologica attuale del bacino è dominata dai processi di versante di vario tipo che incombono su vaste aree dell'abitato di Dessie (AYENEW & BARBIERI, 2005).

I fattori predisponenti prevalenti consistono nell'approfondimento dei corsi d'acqua e nel conseguente aumento della pendenza delle scarpate, nella scarsa regimazione delle acque superficiali, in alcune attività antropiche.

Il fattore scatenante principale dell'innesco di tali movimenti è l'intensità delle precipitazioni. Dall'analisi di 64 frane AYALEW (1999) osservò che il numero e le dimensioni dei fenomeni aumentava all'aumentare del numero dei giorni di pioggia, proponendo anche una semplice equazione che correlava la frequenza dei fenomeni franosi alla media annua di precipitazioni. Nel corso degli ultimi 30 anni si è registrato un generale incremento delle precipitazioni nell'area di Dessie e ciò sembra quindi essere la causa principale dell'incremento della frequenza delle frane (AYALEW & VERNIER, 1999; AYALEW, 1999; 2000). Inoltre vi sono testimonianze di terremoti nell'area (GOUIN, 1979), un altro fattore scatenante può essere lo scuotimento sismico.

Tra l'altro le attività dell'uomo, come la

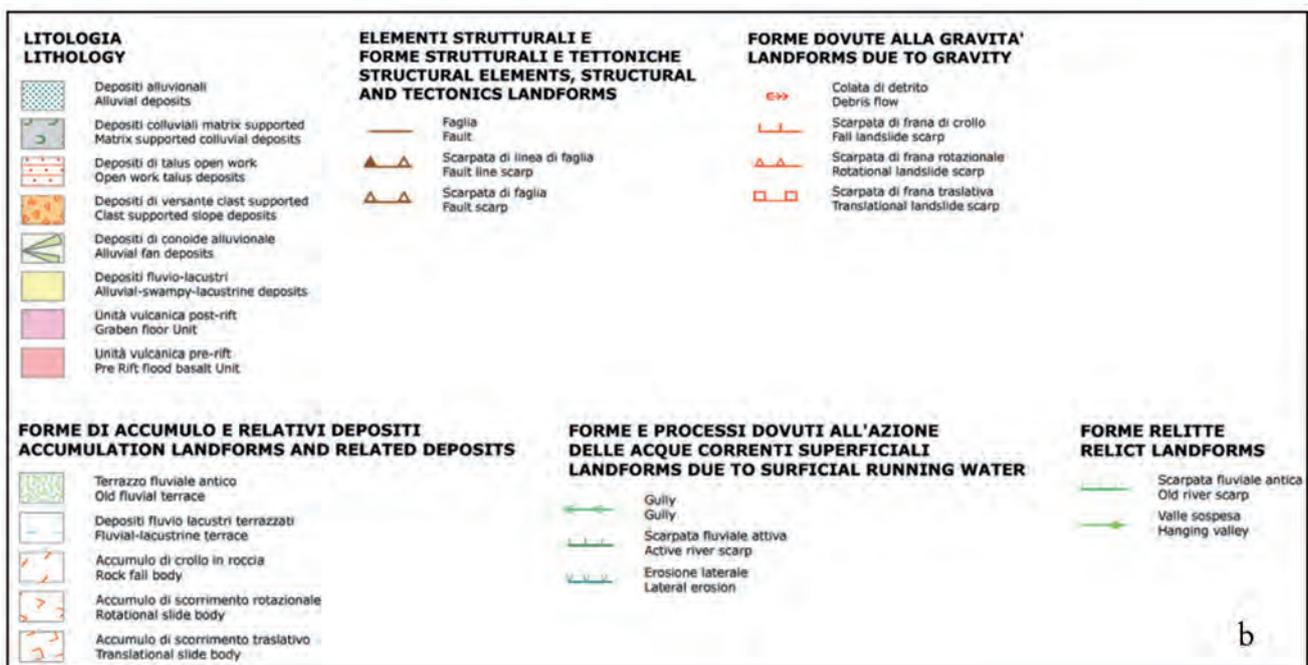


Fig. 1 - a) Carta geomorfologica del bacino di Dessie; b) legenda
 - a) Geomorphological map of the Dessie basin; b) legend

costruzione di abitazioni, strade, ponti, l'interramenti di corsi d'acqua effimeri, le perdite d'acqua da acquedotti e fognature, hanno certamente contribuito a peggiorare le condizioni di stabilità dei versanti, favorendo l'innescò di nuovi fenomeni gravitativi e incrementando l'attività di quelli già presenti.

2. - METODI DI STUDIO

Una prima fase dell'indagine è consistita nel rilevamento geomorfologico di dettaglio dell'area, svolto sul terreno nei mesi di febbraio, marzo e novembre 2005, utilizzando come base le mappe topografiche a scala 1:5.000 fornita dall'Amministrazione di Dessie; il rilevamento è stato supportato dall'interpretazione di coper-

ture aerofotografiche dell'area alla scala 1:10.000 e 1:50.000 (realizzate in diverse annate dal 1983 al 1994) e dall'analisi stratigrafica dei depositi di riempimento del bacino. La legenda utilizzata segue le proposte di PELLEGRINI *et alii* (1997) e DRAMIS & BISI (1998), con alcuni elementi di novità riguardanti principalmente la rappresentazione delle frane. La carta geomorfologica è stata successivamente inserita in ambiente GIS, utilizzando il *software* ESRI ArcGIS 9.1. In questo ambito si è proceduto alla scansione della carta ed alla sua georeferenziazione nel sistema UTM (WGS84), zona 37. Sono stati digitalizzati e immagazzinati come *shapefile* i *temi* poligonali (limiti geologici e forme areali) e i *temi* lineari (quali faglie, scarpate, corsi d'acqua).

Sono stati inoltre creati *temi puntuali* quando le dimensioni del fenomeno non erano tali



Fig. 2. - Localizzazione dell'area di studio.
- Location of the study area.

da consentirne una corretta riproduzione alla scala di lavoro. È stata quindi organizzata una *tematizzazione* del dato, mettendo a punto una struttura contenente un numero di classi pari a quello delle singole entità da rappresentare. Per ogni classe è stata creata una simbologia geologico-geomorfologica appropriata con uno o più elementi vettoriali comprendenti il dato geografico (di tipo puntuale, lineare o areale) visibile sulla mappa e informazioni non spaziali. Queste ultime sono visibili nella tabella degli attributi all'interno della quale l'oggetto è definito da un record di informazioni, organizzate in campi. Tali informazioni possono essere richiamate interrogando l'elemento sulla mappa (fig. 3).



Fig. 3 - Associazione tra l'elemento spaziale e le informazioni tabellari.
- Association between spatial element and table informations.

3. - DESCRIZIONE DELLE LITOLOGIE

Il bacino di Dessie è uno delle depressioni tettoniche poste lungo il margine occidentale dell'Afar e limitate da faglie normali con orientazione N-S in corrispondenza delle quali si sono formate vistose scarpate (fig. 4), quella di Tossa a occidente e quella antitetica di Azwa Gedel a oriente. Un sistema di faglie, con orientazione NE-SO e cinematica trascorrente, taglia le strutture N-S.

Le litologie del substrato comprendono rocce vulcaniche di natura prevalentemente basaltica e di età oligo-miocenica appartenenti alla *pre-rift flood basalt unit* e alla *syn-post volcanism unit* (UKSTINS, 2002).

3.1. - UNITÀ VULCANICA PRE-RIFT (*PRE-RIFT FLOOD BASALT UNIT*)

L'unità è costituita di lava trachitica datata 30.9 ± 0.11 Ma (UKSTINS *et alii*, 2002) e sormon-

tata da numerosi flussi ignibritici e basaltici di età comprese tra 30 and 25 Ma.

Essa rappresenta tutto il vulcanismo *pre- e sin-rift* associato all'apertura del Mar Rosso e del Golfo di Aden (UKSTINS *et alii*, 2002).

La sequenza è spesso caratterizzata da fasi di stasi dell'attività vulcanica, evidenziate dalla presenza di paleosuoli fortemente arrossati, molto evidenti lungo la scarpata di Azwa Gedel.

3.2. - UNITÀ VULCANICA POST-RIFT (*GRABEN FLOOR UNIT*)

L'unità è costituita, in prevalenza, di basalti vescicolari di età successiva alla fase di *rifting* e disposti in una serie di con vulcanici isolati sul fondo del bacino, che conferiscono alla valle del Borkena un caratteristico andamento, contraddistinto da *pattern* idrografici di tipo anulare.

3.3. - DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI (*ALLUVIAL-SWAMPY-LACUSTRINE DEPOSITS*)

L'unità si appoggia in discordanza sull'*unità pre-rift* ed è costituita da un alternanza di sabbie gialle, argille grigie e nere, con subordinate lenti di conglomerato *clast-supported*, con orizzonti diatomici e con scarsi frammenti piroclastici.

Lo spessore di questa unità raggiunge i 100 m in corrispondenza delle aree più depresse presenti sul fondo irregolare del bacino. Questi sedimenti sono stati riferiti ad una generica età quaternaria (GREGNANIN *et alii*, 1978; ETHIOPIAN INSTITUTE OF GEOLOGICAL SURVEYS, 1995; AYENEW & BARBIERI, 2005), ma alcune consi-

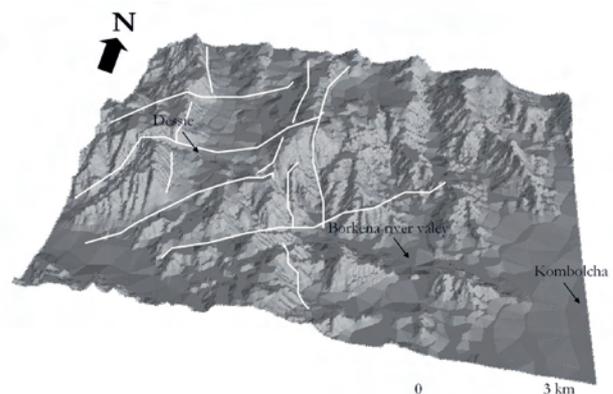


Fig. 4 - Principali elementi tettonici (in bianco) del bacino di Dessie, messi in evidenza dal 3d-scene ottenuto dal DEM a maglia 40 metri.
- Main tectonic elements (in white) of the Dessie basin, pointed out by 40 m resolution DEM 3d-scene.

derazioni di carattere geomorfologico, come lo spessore relativamente ridotto e l'ottima conservazione del *top* deposizionale, associati alla rapida dinamica evolutiva dei processi dei versanti, fanno ritenere probabile un'età tardo-quadernaria.

3.4. – DEPOSITI DI CONOIDE ALLUVIONALE (*ALLUVIAL FAN DEPOSITS*)

Due grandi conoidi alluvionali sono presenti allo sbocco di due distinte valli che tagliano la scarpata di faglia di Tossa, mentre un terzo, di dimensioni minori, è presente nella parte più settentrionale dell'area.

I depositi che li costituiscono, i cui spessori raggiungono i 30 metri, sono conglomerati monogenici (a composizione basaltica), *clast-supported*, parzialmente arrotondati e alternati a livelli sabbioso-argillosi nella parte più distale dei depositi che si interdigita con i sedimenti dell'unità precedente. La superficie dei conoidi presenta angoli compresi tra i 15° e i 20° nella parte apicale, per poi diminuire fino a meno di 13° nella porzione distale. Nelle porzioni più a monte sono sovrapposti e intercalata ai depositi alluvionali accumuli di flussi detritici (*debris flow*) originati dalla scarpata di faglia di Tossa.

3.5. – DEPOSITI DI VERSANTE (*SLOPE DEPOSITS*)

3.5.1. – *Depositi di versante prevalentemente clast-supported (Clast-supported slope deposits)*

A partire dai versanti di faglia e spesso fino al fondovalle si rinvengono depositi conglomeratici *clast-supported* poco o per nulla arrotondati, immersi in matrice sabbioso-argillosa da rossastra a nera, alternata a sottili livelli di spessore inferiore a 10 cm di sabbie argillose scure.

Localmente all'interno si possono ritrovare massi di dimensioni metriche, derivati da accumuli di crolli e scorrimenti in roccia. Nella parte alta della sequenza detritica sono stati rinvenuti due suoli sepolti, riferibili con ogni probabilità a periodi più umidi dell'Olocene (DRAMIS *et alii*, 2003).

3.5.2. – *Depositi di talus prevalentemente open work (Open work talus deposits)*

Al piede dei versanti di faglia che bordano il bacino le acque correnti superficiali e i movimenti di massa contribuiscono a forma-

re depositi di *talus* il cui spessore raggiunge i 7 m. Essi sono caratterizzati dalla presenza di sottili livelli conglomeratici *clast-supported* a spigoli vivi, alternati a livelli con strutture di tipo *open-work* o parzialmente *open-work*.

3.5.3. – *Depositi colluviali matrix supported (Matrix supported colluvial deposits)*

Coltri colluviali spesse fino a oltre 5 metri e costituite prevalentemente di sabbie e sabbie argillose da rossastre a nere si rinvengono estesamente sul fondo del bacino, in corrispondenza delle aree comprese tra i coni vulcanici dell'unità *post-rift*.

4. – UNITÀ MORFOLOGICHE PRINCIPALI

Le principali unità morfologiche presenti nell'area sono le scarpate di faglia, il terrazzo di Dessie, i conoidi alluvionali, i terrazzi fluviali e la valle del Borkena.

4.1. – LE SCARPATE DI FAGLIA

La scarpata di faglia di Tossa, impostata sull'unità vulcanica *pre-rift*, raggiunge un'altezza maggiore di 400 m e presenta una pendenza molto elevata, a luoghi superiori a 80°. Essa segue un andamento meridiano rettilineo, disseccato da un sistema di faglie trascorrenti orientate prevalentemente NE-SW e interrotta dagli affluenti che generano i conoidi descritti nel paragrafo precedente.

La scarpata di faglia antitetica di Azwa Gedel, anch'essa impostata sull'unità *pre-rift* e orientata in senso meridiano, ha una altezza assai minore (ca. 200 m) ed è a sua volta interrotta dalle faglie trascorrenti precedentemente descritte.

Questa scarpata è profondamente incisa dall'attuale corso del Fiume Borkena che attraversa il rilievo che borda ad oriente il bacino per raggiungere più in basso la depressione di Kombolcha; più in alto è presente una valle sospesa, testimone di un più antico percorso del Borkena (fig. 5).

4.2. – IL TERRAZZO DI DESSIE

All'interno della depressione tettonica di Dessie, alla quota di circa 2.520 m s.l.m., è presente un vasto terrazzo fluvio-lacustre esteso dal campo sportivo a nord fino al mar-



Fig. 5 - Valle sospesa lungo la scarpata di Awza Gedel.
- *Hanging valley crossino the Awza Gedel escarpment.*

gine meridionale del bacino e profondamente inciso dal Fiume Borkena.

Il fiume taglia interamente la sequenza dei depositi fluvio-lacustri, arrivando ad incidere anche l'*unità post-rift* sul fondo del bacino. La superficie del terrazzo è ben conservata ad ovest dell'incisione del Borkena, mentre ad est è parzialmente coperta da depositi di versante e da accumuli di frana.

La continuità del terrazzo e il fatto che il margine interno sia in molti casi perfettamente conservato fa ritenere che la superficie sia di età relativamente recente (fig. 6).

4.3. - I CONOIDI ALLUVIONALI

Tre distinti conoidi alluvionali si aprono a ventaglio dai tre principali affluenti in destra idrografica del Fiume Borkena. I due più meridionali, molto più estesi di quello settentrionale, si interdigitano ai depositi del terrazzo

fluvio-lacustre. Quello più meridionale, su cui è costruito il centro di Dessie (fig. 7) è profondamente inciso per uno spessore di circa 15 m.

4.4. - TERRAZZI FLUVIALI E LA VALLE DEL BORKENA

Nella parte alta del bacino a quote comprese tra 2.515 e 2.505 m s.l.m., è riconoscibile un terrazzo fluviale incassato nel terrazzo fluvio-lacustre (di circa 5 m nei pressi dello stadio di Dessie). Una profonda e ripida incisione (tra i 5 e i 15 m) separa questo terrazzo da quello più basso, posto a pochi metri al di sopra del letto fluviale attuale.

In base alle considerazioni di tipo geomorfologico espone nel paragrafo precedente l'età di questi depositi dovrebbe essere olocenica. L'incisione del Borkena è molto profonda e raggiunge quasi ovunque l'unità vulcanica sottostante.



Fig. 6 – Il terrazzo lacustre di Dessie.
- *The Dessie lacustrine terrace.*



Fig. 7 – Il conoide alluvionale di Dessie.
- *The Dessie alluvial fan.*



Fig. 8 - a) Lo scorrimento traslativo in roccia (translational rock slide) di Doro Mezleya; b) scorrimento rotazionale (rotational earth slide) nei depositi lacustri; c) e d) scorrimenti traslativi (translational debris slides) in depositi detritici di versante lungo la scarpata di Tossa.
- a) The translational rock slide of Doro Mezleya; b) rotational earth slide in lacustrine deposits; c) and d) translational debris slides in slope debris on the Tossa escarpment.

5. - I FENOMENI FRANOSI

L'intero bacino è interessato da movimenti di massa di diversa tipologia. Crolli in roccia (*rock falls*), scorrimenti in roccia (*rock slides*) e valanghe di detrito (*debris avalanches*) (VARNES, 1978), per lo più di dimensioni modeste, sono diffusi principalmente sulla scarpata di Azwa Gedel.

In prossimità di Doro Mezleya è presente un scorrimento traslativo in roccia (*translational rock slide*) (VARNES, 1978) con evoluzione fortemente retrogressiva. Il piano di scorrimento corrisponde ai giunti di raffreddamento dell'*unità vulcanica post-rift*, in *facies* di basalto vescicolare, che in questo settore sono paralleli al versante (fig. 8a).

Scorrimenti rotazionali (*rotational slides*) (VARNES, 1978) si sviluppano principalmente a spese dei depositi fluvio-lacustri del terrazzo di

Dessie. In particolare è facile osservare come la continuità e l'estensione del terrazzo lacustre siano limitate proprio dall'attività di questo tipo di frane (fig. 8b).

La causa principale di tali fenomeni risiede nel rapido approfondimento del Fiume Borkena e dei suoi affluenti, che provoca una diffusa instabilità sulla scarpata di incisione fluviale. Anche il conoide alluvionale, sul quale è ubicata la Soft Drink Factory, è diffusamente interessato da *scorrimenti rotazionali*. Il motivo per cui solo questo dei tre conoidi presenti è interessato da frane risiede nel fatto che è l'unico raggiunto dallo scalzamento al piede da parte del Fiume Borkena, mentre gli altri due risultano "protetti" a valle rispettivamente dai depositi colluviali e da quelli lacustri. Scorrimenti traslativi di detrito (*translational debris slides*) (VARNES, 1978), testimoniate da numerose corone di frana sub-rettangolari e da trincee (figg. 8c e 8d), interessano maggiormente i depositi di

versante prevalentemente *clast-supported*, specie quando le pendenze sono elevate, in particolar modo lungo la scarpata di Tossa.

Le superfici di scorrimento si impostano generalmente in prossimità del limite con i sottostanti basalti, ma anche in corrispondenza di livelli argillosi intercalati all'interno dei depositi stessi. La tabella 1 presenta una sintesi di tutte le frane censite nel corso del rilevamento, distinte per tipologia di movimento e materiali interessati.

6. - ANALISI STATISTICA IN AMBIENTE GIS

6.1. - FASE DI PRE-ELABORAZIONE E ORGANIZZAZIONE DEL DATO

La digitalizzazione della carta è stata seguita da una organizzazione dei dati vettoriali in *layer* (livelli informativi) caratterizzati al loro interno da uniformità di informazione. Sono stati generati i seguenti *layer*:

TAB. 1 - *Censimento dei fenomeni franosi rilevati durante l'attività di terreno.*
- Inventory of landslides surveyed on the field.

TIPOLOGIA DI FRANA	LITOLOGIA	FREQUENZA
Fall/Toppling	Pre-rift flood basalt	8/11
	Graben flood basalt	3/11
Rock/debris avalanche	Pre-rift flood basalt	6/10
	Graben flood basalt	2/10
	Open work talus deposits	2/10
Rotational slide	Alluvial-swampy-lacustrine deposits	35/59
	Clast supported slope deposits	4/59
	Alluvial fan deposits	14/59
	Colluvial deposits	6/59
Translational slide	Graben flood basalt	1/22
	Alluvial-swampy-lacustrine deposits	1/22
	Clast supported slope deposits	18/22
	Alluvial fan deposits	2/22

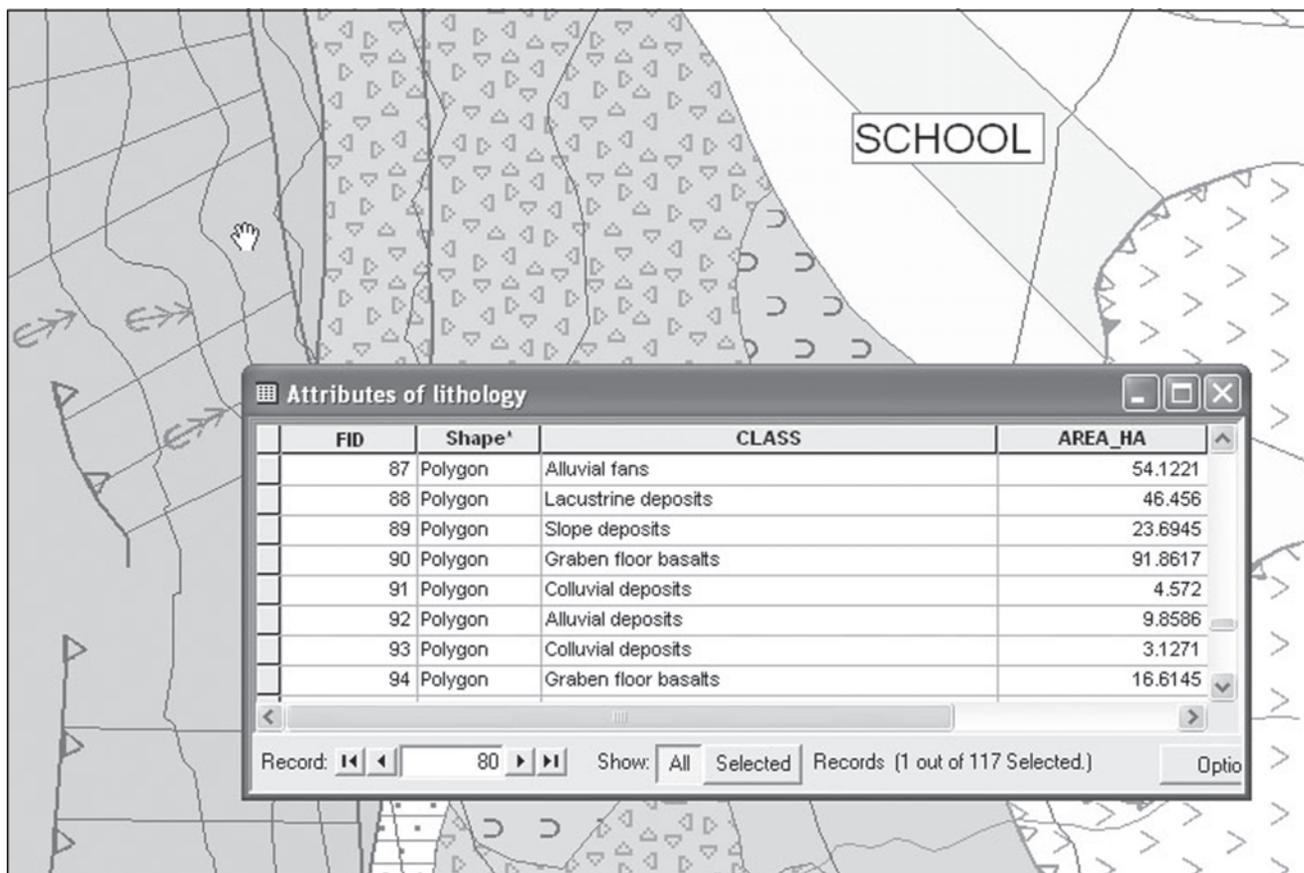


Fig. 9 - Tabella degli attributi del Layer Litologia; si notano i campi Classe e Area_Ha.
- Table of Layer Litologia attributes: the Classe e Area_Ha fields can be seen.

*Litologia**Tettonica e forme strutturali**Forme gravitative**Forme di accumulo e relativi depositi**Forme derivate dalle acque di superficie**Forme relitte*

Ciascun *layer* è costituito da una o più classi che lo suddividono ulteriormente e ne rendono possibile la rappresentazione geologico-geomorfologica (*tematizzazione* del dato). La *tematizzazione* è stata inserita all'interno della tabella degli attributi di ciascun *layer* nella classe di ciascun elemento. Per i *layer* di tipo areale (litologia, forme di accumulo e relativi depositi) sono state ricavate, ed inserite in tabella, le aree di ciascun affioramento (fig. 9).

6.2. - ANALISI SPAZIALE

I fenomeni franosi dell'area indagata dipendono dalla presenza simultanea di vari fattori (geologici, geomorfologici, etc.) ed occorre quindi discriminare il ruolo di ciascun fattore sulla genesi e l'evoluzione dei versanti. L'analisi GIS si propone di agevolare tale compito, mettendo in luce le relazioni tra particolari tipologie di frana e la litologia interessata. A tal fine, sono state eseguite analisi spaziali sui *layer* per ricavare le percentuali areali di ciascun litotipo coinvolte nelle tipologie di frana riconosciute durante il rilevamento. Per una corretta analisi spaziale, tutti gli elementi areali del *layer* "forme gravitative", ricadenti nelle classi delle frane, sono stati sommati alle litologie sulle quali si sono impostate le frane.

I conoidi alluvionali sono stati distinti in tre diverse classi, in quanto, come descritto in precedenza, solo quello centrale risulta essere interessato da fenomeni di dissesto.

Viene in seguito popolata con ulteriori campi la tabella degli attributi del *layer* "litologia", che già presenta i campi "classe" e "area_ha" (vedi tab. 2 e fig. 10).

A questo punto sono state eseguite le seguenti operazioni (BIALLO, 2002):

1) funzioni di aggregazione (per *classe*, quindi tra aree di uguale affioramento), per calcolare la superficie totale di ciascun litotipo;

2) selezione ed estrazione di poligoni (aventi valore *true* dell'attributo *frana*) e aggregazione per *classe* al fine di ottenere l'area totale in frana nelle varie litologie;

3) selezione ed estrazione di poligoni (aventi valore non *null* dell'attributo *tipofrana*) e aggregazione per *classe* e per *tipofrana*, per ricavare la superficie in frana per categoria di frana dei vari litotipi.

Il risultato è schematizzato nelle tabelle 3 e 4.

7. - DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Il rilevamento geomorfologico di terreno ha consentito la ricostruzione dell'evoluzione recente del bacino tettonico di Dessie. Le osservazioni condotte sul terreno ed integrate dalla fotointerpretazione e dall'analisi GIS hanno posto in evidenza che tale evoluzione è dominata dai processi legati all'approfondimento del Fiume Borkena e dei suoi affluenti. Ciò ha indotto l'attivazione e lo sviluppo di numerosi fenomeni franosi di diversa tipologia ed estensione.

I processi geomorfologici attivi che interessano l'area di studio hanno un fortissimo impatto sulle infrastrutture, insediamenti e sulla vita degli abitanti della città di Dessie. In particolare vaste aree di quartieri molto popolosi della città sono in frana, o presentano caratteristiche geomorfologiche tali da non poter escludere lo sviluppo di ulteriori frane di neo-formazione. Già in passato la città è stata pesantemente interessata da fenomeni di dissesto, provocando, oltre a danni materiali, anche la morte di diverse persone (GOUIN,

TAB. 2 - *Attributi del Layer LitologiaSub utili per le analisi spaziali.*
- Attributes of the LitologiaSub Layer useful for spatial analyses.

NOME CAMPO	TIPO DI DATO	INFORMAZIONE
Frana	Booleano (True/False)	Indica se l'area è soggetta o meno a frana
Tipo Frana	Lista di valori (Fall/avalanche, Rotational, Translational, Null)	Indica, se valorizzato, la categoria di frana

FID	Shape*	CLASS	AREA_HA	LANDSLIDE	SLIDE_TYPE
103	Polygon	Slope deposits	1.2483	1	Rotational
104	Polygon	Lacustrine deposits	0.2627	1	Rotational
105	Polygon	Pre Rift basalts	0.0947	1	Rotational
106	Polygon	Graben floor basalts	3.6418	1	Translational
107	Polygon	Graben floor basalts	150.612	0	Null
108	Polygon	Pre Rift basalts	48.3308	0	Null
109	Polygon	Slope deposits	0.2475	0	Null
110	Polygon	Slope deposits	0.1365	0	Null
111	Polygon	Colluvial deposits	12.4506	1	Rotational
112	Polygon	Alluvial fan center	30.8509	1	Rotational
113	Polygon	Slope deposits	1.0911	1	Fall/avalanche

Fig. 10 - Tabella degli attributi del Layer LitologiaSub; rispetto al sono stati popolati i campi Frana e TipoFrana.
 - Table of Layer LitologiaSub attributes; compared with Layer Litologia, the Frana and TipoFrana fields have been populated.

TAB. 3 - Percentuale di area in frana dei singoli litotipi affioranti.
 - Percentage of landslide area in the different outcropping lithotypes

Class	Area_ha	Area_ha Frana	% Frana
Alluvial deposits	19.9997	0.0000	0
Colluvial deposits	231.7045	12.6943	5
Open work talus deposits	9.0324	0.7131	8
Clast-supported slope deposits	164.8633	47.1567	29
Alluvial fan northern	2.9996	0.0000	0
Alluvial fan central	80.2705	33.0572	41
Alluvial fan southern	54.3639	0.0000	0
Alluvial-swampy-lacustrine deposits	108.4452	32.1232	30
Graben floor basalts	456.0817	3.6418	1
Pre-rift flood basalts	333.6116	3.9880	1

1979; ETHIOPIAN INSTITUTE OF GEOLOGICAL SURVEYS, 1995; MINISTRY OF WORKS AND URBAN DEVELOPMENT, 1995; TEREFE, 2001; AYE-NEW & BARBIERI, 2005).

Le indagini geomorfologiche effettuata hanno messo in evidenza come le tipologie di frana rilevate siano fortemente condizionate dalla litologia del substrato e dal tipo di co-

TAB. 4 - Percentuali di area interessate da frane di diversa tipologia rispetto al totale in frana in ciascuno dei litotipi affioranti.

- Percentage area affected by landslides of different types compared to the total landslide affected area in the different outcropping lithotypes.

Class	Area ha	Area ha	Area ha	%	%	%
	fall - crollo debris avalanche valanga di detrito	rotational slide scorrimento rotazionale	rotational slide scorrimento traslativo	fall - crollo debris avalanche valanga di detrito	rotational slide scorrimento rotazionale	rotational slide scorrimento traslativo
Alluvial deposits Depositi alluvionali	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0
Colluvial deposits Depositi colluviali	0.0000	12.6943	0.0000	0	100	0
Open work talus deposits Depositi di talus open-work	0.7131	0.0000	0.0000	100	0	0
Clast-supported slope deposits Depositi di versante clast-supported	4.6187	29.4372	13.1008	10	62	28
Alluvial fan (northern) Conoide alluvionale (settentrionale)	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0
Alluvial fan (central) Conoide alluvionale (centrale)	0.0000	33.0572	0.0000	0	100	0
Alluvial fan (southern) Conoide alluvionale (meridionale)	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0
Alluvial-swampy-lacustrine deposits (Dessie terrace) Depositi fluvio-lacustri (Terrazzo di Dessie)	0.0000	12.3056	19.8176	0	38	62
Graben floor basalts Unità post-rift	0.0000	0.0000	3.6418	0	0	100
Pre-rift flood basalts Unità pre-rift	3.8933	0.0947	0.0000	98	2	0

pertura. I più alti livelli di rischio riscontrati (considerando anche la velocità del tipo di frana) si localizzano nella parte alta dei depositi di versante, subito sotto la scarpata di Tossa dove sono ubicate numerosissime abitazioni e anche scuole. L'utilizzo di metodologie GIS ha consentito la creazione di una cartografia geologica-geomorfologica georeferenziata, associata ad una banca dati incentrata sulla statistica degli eventi franosi, punto di partenza irrinunciabile per la realizzazione di carte di pericolosità e di rischio attendibili.

È possibile inoltre sfruttare altre potenzialità del GIS, come quella di poter aggiornare facilmente le carte e poter confrontare temporalmente i fenomeni, e in particolare quelli franosi, che si verificano nell'area di indagine.

BIBLIOGRAFIA

- AYALEW L. (1999) - *The effect of seasonal rainfall on landslides in the highlands of Ethiopia*. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 58, 9 -19.
- AYALEW L. (2000) - *Factors affecting slope stability in the Blue Nile basin*. In: M. BROMHEAD, N. DIXON & M. IBSEN (Eds.): "Landslides: in research, theory and practice": pp. 101-106, Thomas Telford, Cardiff.
- AYALEW, L. & VERNIER, A. (1999) - *Causes and mechanisms of slope instability in Dessie town, Ethiopia*. In: N. YAGI, T. YAMAGAMI & J.-C. JANG (Eds.): "Slope stability engineering": pp. 1181-1186, A.A. Balkema, Rotterdam.
- AYENEW T & BARBIERI, G. (2005) - *Inventory of landslide and susceptibility mapping in the Dessie area, Northern Ethiopia*. Eng. Geology, 77: 1-15.
- BIALLO G. (2002) - *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*. MondoGIS, Roma.
- CENTRAL STATISTICS AGENCY (1999) - National popula-

- tion survey. The Federal Government of Ethiopia, Addis Ababa.
- DRAMIS F. & BISI C. 1998. *Cartografia geomorfologica Manuale di introduzione al rilevamento ed alla rappresentazione degli aspetti fisici del territorio*, pp. 215, Pitagora Editrice, Bologna.
- DRAMIS F., UMER M., CALDERONI G. & HAILE M. (2003) - *Holocene climate phases from buried soils in Tigray (northern Ethiopia): Comparison with lake level fluctuations in the Main Ethiopian Rift*. *Quaternary Research* 60: 274-283.
- ETHIOPIAN INSTITUTE OF GEOLOGICAL SURVEYS (1995) - *A report on landslide problems of Dessie town*. Addis Ababa.
- ETHIOPIAN MAPPING AUTHORITY (1988) - *National Atlas of Ethiopia*. Addis Ababa.
- GAMACHU D. (1977) - *Aspects of climate and water budget in Ethiopia*, pp. 71, Addis Ababa University Press.
- GREGNANIN A., PICCIRILLO E.M. & ABEBAW E. (1978) - *The subdivision of volcanic series in the Ethiopian Plateau. New geologic interpretation of the Dessie area*. Technical report. Roma, Italy.
- GOUIN P. (1979) - *Earthquake history of Ethiopia and the Horn of Africa*. International Development Research Center (IDRC), Ottawa, Canada, pp. 258.
- MINISTRY OF WORKS AND URBAN DEVELOPMENT (1995).- *A report on landslide problem of Dessie town*. Unpublished Report, Ethiopian Institute of Geological Surveys, Addis Ababa.
- PELLEGRINI G.B., CARTON A., CASTALDINI D., CAVALLIN A., D'ALESSANDRO L., DRAMIS F., GENTILI B., LAURETI L., PRESTININZI A., RODOLFI G., SAURO U., SORRISO-VALVO M. & SPAGNA V. (1993) - *Proposta di legenda geomorfologica a indirizzo applicativo*. *Geogr. Fis Dinam. Quat.*, 16 (2), 129-152.
- TEREFE K. (2001) - *Engineering geological mapping and landslide assessment of Dessie town*. M.Sc. thesis, Addis Ababa University, Department of Geology and Geophysics.
- UKSTINS I.K., RENNE P.R., WOLFENDEN E., BAKER J., AYALEW D. & MENZIES M. (2002) - *Matching conjugate volcanic rifted margins: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chrono-stratigraphy of pre-and syn-rift bimodal flood volcanism in Ethiopia and Yemen*. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 198: 289-306.
- VARNES D.J. (1978). *Slope movements types and processes*. In: R.L. SCHUSTER & R.S. KRIZEK (Eds.): "*Landslides analysis and control*". Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report 176 (2): pp. 20-47, Washington D.C.