

Un esempio di parametrizzazione geomorfica da dati SRTM *A case of geomorphic parametrization from SRTM data*

TARAMELLI A. (*), MELELLI L. (*), CATTUTO C. (*), GREGORI L. (*)

RIASSUNTO - I DEM (*Digital Elevation Model*) rappresentano attualmente uno dei mezzi più vantaggiosi per la stima e la parametrizzazione degli elementi topografici, primari e secondari. Tali variabili costituiscono, nell'analisi geomorfica quantitativa, la base di elaborazioni a diverso grado di complessità. Il grado di esattezza nella stima dei dati di input pertanto, costituisce un fattore da cui nessuna analisi successiva dovrebbe prescindere.

La NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) ha recentemente concesso gratuitamente un GRID elaborato tramite metodologia di acquisizione in missione globale (*Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*), per il rilevamento di tutte le terre emerse alla risoluzione massima di 6m a terra. Le mattonelle di *Lat-Long* sono state elaborate presso il laboratorio JPL e distribuite tramite il sito *web* dell'U.S.G.S. EROS *Data Centre*. La mosaicatura e successiva ricostruzione del DEM a 70x70 metri per l'intero territorio italiano è stata effettuata presso il *Lamont-Doherty Earth Observatory* della *Columbia University* ed ha richiesto algoritmi di interpolazione di minima curvatura per correggere le numerose aree con *no data*, corrispondenti a molteplici celle con errori di misurazione, quali valori eccessivi di altitudine, o valori fortemente negativi (*peaks e sinks*). Il modello, per le modalità di acquisizione del dato originario, rappresenta una riproduzione "reale" del territorio in esame ed è pertanto privo degli errori dei DEM ottenuti da digitalizzazione. Conseguentemente, dal DEM SRTM, sono derivabili parametri primari e secondari di accuratezza e corrispondenza particolarmente alte (concordemente alla risoluzione del modello). In questo lavoro, una serie di attributi primari e secondari dedotti

dal DEM SRTM sono stati utilizzati per la ricostruzione della curva ipsometrica di un bacino dell'Italia centrale.

PAROLE CHIAVE: DEM, geomorfologia, SRTM, GIS, curva ipsometrica.

ABSTRACT -To understand the main process governing such a complex system like topography where heterogeneous components are linked by multiple interactions, a great amount of information acquired with several spatial scales and with different temporal resolutions is required. Therefore, geomorphologists commonly analyze digital elevation models (DEMs) to identify parameters and to assess the relative importance and rates of various processes on a regional scale. The scaling and aggregation of landscape attributes for landscape evolution models are sensitive to the specific remote sensing techniques. Model sensitivity to input data error propagation can be evaluated to specify the form and acceptable limits of accuracy of input data sets describing land surface attributes.

The United States National Aeronautic and Space Administration (NASA) has recently released a 90x90 meter DEM acquired by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) in February of 2000. The DEM was produced by NASA Jet Propulsion Laboratory, and is distributed through the U.S. Geological Survey EROS Data Centre. Assemblage and local interpolation of the DEM for Italy was performed at Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University. Since the SRTM dataset was not correctly geo-located, contains numerous regions with no data due to the geometric distortions in

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Perugia, ataram@ldeo.columbia.edu, lmelelli@unipg.it, cattuto@unipg.it, lucilia@unipg.it

the acquisition, and radar backscatter results noisy, several pre-processing steps were required.

The elaborated wire frame model or image matrix (DEM) in which the value of each pixel is associated with a specific topographic height describes the real topography better than the Digital Terrain Models (DTMs) derived from cartographic data. From this new digital elevation data, topographic attributes can be calculated and used in the planning of data collection networks. A set of morphometric variables extracted from the assembled DEM has been used as an example of compound attribute in order to calculate the hypsometric curve of the Nera River basin, in central Italy.

KEYWORDS: DEM, geomorphology, SRTM, GIS, hypsometric curve.

1. - INTRODUZIONE

I Sistemi Informativi Geografici (GIS) di recente sviluppo, integrano ordinariamente informazioni spaziali con elementi qualitativi e quantitativi topografici derivati da modelli del terreno. La distribuzione spaziale di elementi topografici è spesso usata come una misura indiretta dei parametri morfometrici attraverso processi di riclassificazione e di elaborazione. L'analisi topografica può essere usata per sviluppare strutture tridimensionali particolarmente realistiche in quelli che vengono chiamati "*Landscape evolution models*" (STARK & STARK, 2001). Lo studio di questi modelli ha portato ad individuare nuove metodologie e a migliorare quelle note, per la stima delle relazioni tra topografia e parametri morfometrici (TUCKER & BRAS, 1998).

In diverse aree del territorio italiano, uno dei modelli tridimensionali del terreno più diffuso ed utilizzato è quello rappresentato dai DEM, ottenuto dalla digitalizzazione di curve di livello (CdL) o da dati satellitari.

Un DEM è definibile come "*a quantitative model of part of the earth's surface in digital form*" (BURROUGH *et alii*, 1998) ovvero come un insieme di dati che permette il calcolo per interpolazione della quota di un punto arbitrario del terreno secondo una precisione assegnata. Ogni cella riporta il valore medio dell'elevazione dell'area corrispondente. La struttura raster di un DEM è quindi quella di una matrice d'altitudine (EVANS, 1980), nella quale per ogni cella sono inseriti solo i dati che fanno riferimento a Z (altitudine), al punto di partenza ed al passo della griglia, rendendo il meccanismo d'immagazzinamento dei dati particolarmente funzionale.

I DEM sono i principali dati utilizzati nelle

analisi morfometriche, per la possibilità di generare due diversi tipi di parametri che vengono definiti primari e secondari (SPEIGHT, 1980). I parametri primari sono direttamente calcolati dai dati di quota assoluta (calcolo delle pendenze). Quelli secondari al contrario, vengono calcolati attraverso una combinazione di parametri primari e di altre eventuali variabili, al fine di descrivere o caratterizzare la mutabilità spaziale di uno specifico processo geomorfologico o di particolari associazioni di forme. La ricostruzione del reticolo idrografico tramite algoritmi è uno dei più frequenti risultati di un tale tipo di analisi. La ricomposizione della rete di drenaggio superficiale è spesso di primaria importanza nello studio di diversi processi morfogenetici (ABRAHAMS, 1984). La sua individuazione in automatico, dove non derivi dalle tradizionali tecniche cartografiche ma sia il risultato di una semplificazione del processo fisico che ne sta alla base (attraverso l'uso di algoritmi booleani - WHITESITT, 1995; HOF & BEVERS, 1998), comprende errori che derivano solo dal grado di approssimazione del modello del terreno prescelto e sono comunque percentualmente inferiori a quelli contenuti nei tradizionali metodi di rilevamento.

I più recenti modelli morfologici, sviluppati attraverso l'uso combinato di parametri primari e secondari (TUCKER *et alii*, 2002a) hanno privilegiato l'interpretazione del modello a scapito della precisione del modello fisico, ottenendo però risultati più vicini al reale. In questo tipo di modelli i parametri primari sono usati direttamente nel processo di modellazione (ROERING *et alii*, 2005) mentre quelli secondari vengono usati come per lo sviluppo di modelli idrologici e geomorfologici (BAND, 1986). In diversi altri casi al contrario, gli attributi secondari vengono utilizzati come dati di input iniziali. Successivamente, la loro elaborazione con altri elementi territoriali (qualitativi e quantitativi) che spesso non considera eventuali problemi di scala (TUCKER *et alii*, 2001b), porta ad ottenere *Landscape Evolution Model* troppo semplificativi e poco corrispondenti alla realtà. Un ulteriore problema nei modelli elaborati all'interno dei GIS, è la mancanza di un approccio *physically-based* per l'analisi e l'interpretazione dei dati stessi.

L'elaborazione di parametri secondari e di parametri complessi, relativi a modelli geomorfologici e idrografici tramite analisi di telerilevamento, può rappresentare una valida soluzione al problema. In questo contesto, la ricostruzione e l'analisi dei parametri primari e secondari, derivata in automatico da DEM, ha avuto un

ulteriore sviluppo con la disponibilità di dati SRTM. I modelli del terreno, precedenti l'arrivo dei dati SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibili per le aree d'interesse in Italia, derivano da digitalizzazione di CdL (Curve di Livello) con errori di valutazione delle quote relative derivanti dal sistema di immissione dei dati (TARAMELLI & REICHENBACH, 2005). I dati SRTM, al contrario, derivano da misurazioni puntuali di tipo Radar ad elevata precisione e consentono la ricostruzione di DEM che, sebbene a minore risoluzione (3 arc/sec), restituiscono un modellato superficiale decisamente più corrispondente alla realtà (TARAMELLI & BARBOUR, 2005).

La figura 1 riporta il confronto tra due DEM di una stessa area, il primo (fig. 1a) ottenuto da digitalizzazione di CdL con equidistanza di 25 m, il secondo (fig. 1b) da ottenuto da elaborazione di dati SRTM. Quest'ultimo rappresenta un modellato superficiale decisamente più simile al reale, in particolare nelle aree di pianura, essendo privo degli errori di discretizzazione di quota derivanti dalla digitalizzazione delle CdL.

Il principale obiettivo di questo lavoro è stato l'elaborazione in automatico di alcuni parametri utilizzati nell'analisi geomorfica

quantitativa, iniziando dall'elaborazione (da dati SRTM) di attributi primari (pendenza, angolo di esposizione e direzioni di flusso) e secondari (lunghezza e orientamento del reticolo idrografico superficiale e calcolo delle aree dei sottobacini sottesi). L'area *test* ricade nel bacino idrografico del F. Corno, affluente in sinistra del F. Nera che, a sua volta, confluisce da sinistra nel medio corso del F. Tevere (fig. 2).

Il confronto, in ambiente GIS, tra l'analisi ipsometrica ottenuta dal DEM SRTM e l'ubicazione degli eventi storici del *dataset* AVI (<http://www.irpi.pg.cnr.it/> - Progetto AVI - Guzzetti *et alii*, 1994), lungo i fondovalle ha consentito un'analisi incrociata per una più corretta interpretazione dei fenomeni.

2. - UN NUOVO DATASET TOPOGRAFICO PER L'ITALIA

L'uso sempre più frequente di *Landscape Evolution Models* rende necessaria la selezione di dati topografici telerilevati ad alta risoluzione (HOOPER *et alii*, 2003, WHITE & WANG, 2003).

La missione globale SRTM è dedicata all'osservazione della Terra ed ha avuto inizio l'11

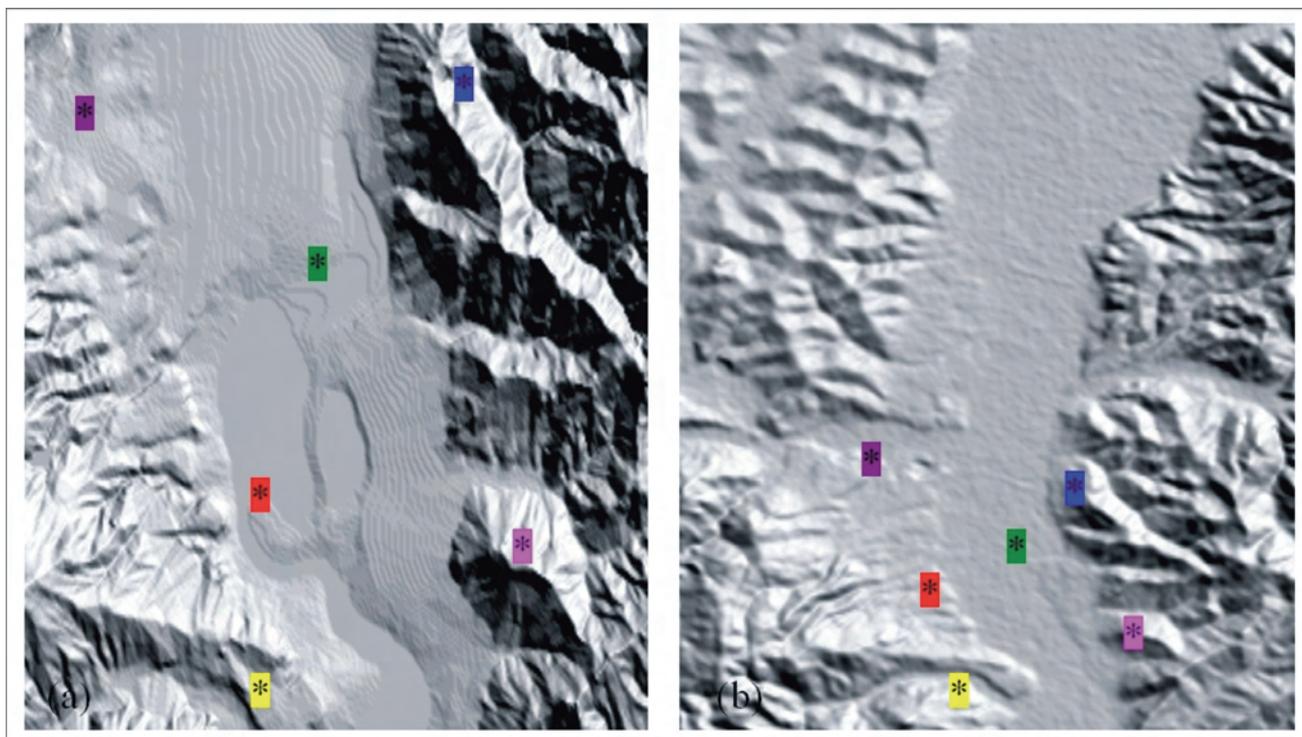


Fig. 1 - Confronto per una medesima area del modello digitale ottenuto da digitalizzazione di curve di livello (a) e da dati radar (b). Gli asterischi di uguale colore contrassegnano medesimi punti con evidenti errori nel primo DEM.
- Differences between shaded relief images: (A) 25 m x 25 m DEM for the Umbria Region (B). SRTM DEM. The colored open squares show several differences.

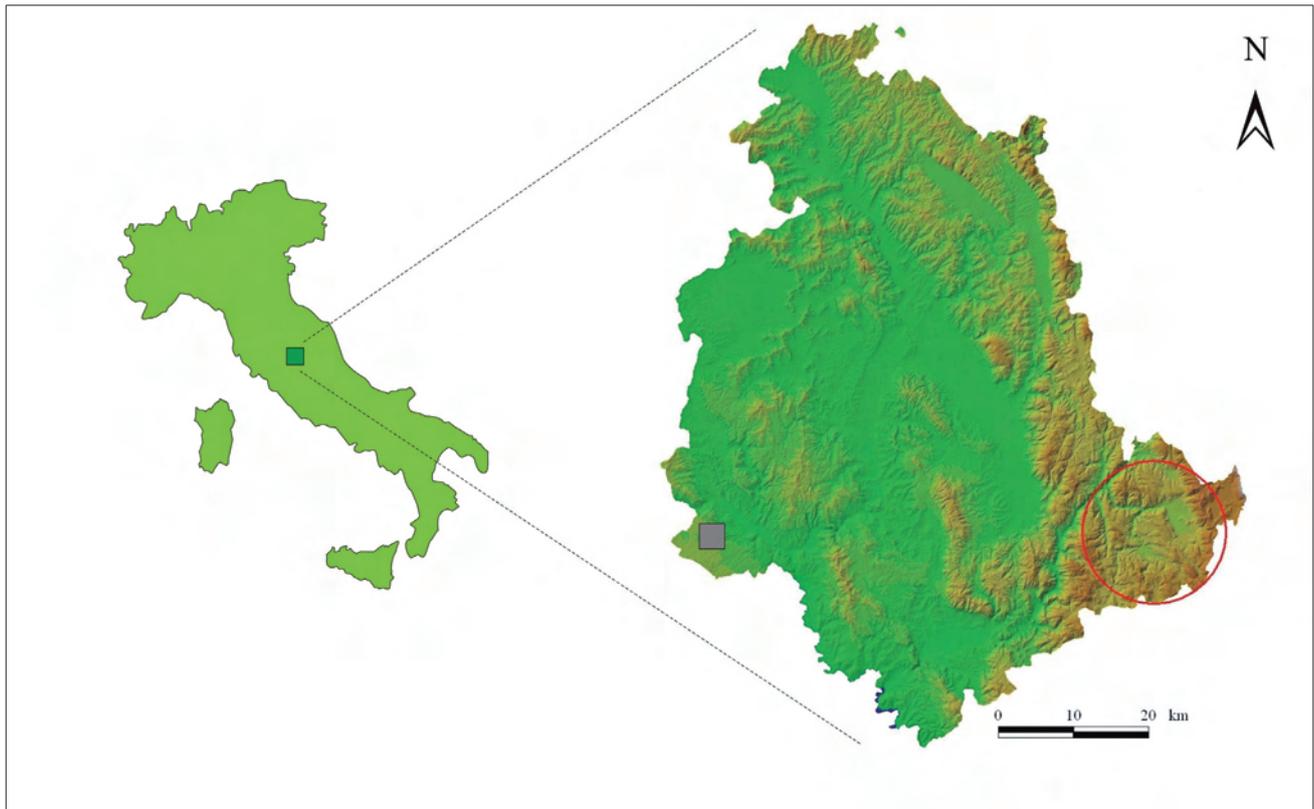


Fig. 2 - Ubicazione dell'area di studio (contrassegnata in rosso).
- Study area highlighted in red.

febbraio 2000. SRTM è un programma congiunto tra NASA, Agenzia Spaziale tedesca (DLR) e Agenzia Spaziale Italiana (ASI). La missione SRTM ha offerto una nuova opportunità per l'elaborazione di attributi topografici omogenei a scala regionale fornendo DEM ad alta risoluzione e utilizzando tecnologia radar. Il sistema Radar è una tecnica di telerilevamento attivo che opera nell'intervallo delle microonde (1mm-1m). Nonostante che i sistemi operanti nel visibile (VIS), nel vicino infrarosso (NIR) e nel infrarosso termico (TIR) siano ormai maturi e consolidati, lo sforzo tecnologico e teorico verso lo sviluppo di quelli operanti a microonde è notevole. Le motivazioni sono riassunte nei seguenti punti:

- Rispetto ai sistemi operanti nel VIS/NIR, i sistemi operanti a microonde acquisiscono informazioni anche nelle ore notturne (potenzialità che possiedono anche i sistemi operanti nel TIR).
- Le nubi danno luogo a forte attenuazione nel VIS, NIR, TIR, mentre sono scarsamente influenti sulle microonde, almeno per $f < \sim 20$ GHz.
- I sistemi operanti nel VIS, NIR, TIR danno informazioni soltanto sulle proprietà super-

ficiali del mezzo telerilevato, i sistemi a microonde, invece, penetrano fino a profondità di almeno qualche centimetro.

Nel sistema radar a microonde il sensore attivo è posizionato in una piattaforma che può variare (satellite, shuttle o aereo), che dopo aver emesso il segnale, ne rileva l'eco riflessa dal bersaglio. Le immagini così create vengono poi convertite in DEM per interpolazioni successive.

Il DEM SRTM non elaborato dell'Italia è di accesso libero sul *web* all'indirizzo: <ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/srtm> in formato di singole mattonelle di un 1° di latitudine e longitudine. Il formato originale del *dataset* ha una risoluzione di 3 arcosecondi che rappresentano una media al suolo di circa 70 m alla latitudine del territorio italiano. I dati originali sono stati oggetto di elaborazione successive con procedura GIS, dopo che sono state risolte alcune difficoltà tecniche. In particolare il *dataset* SRTM ha richiesto diverse interpolazioni in serie poiché il DEM mosaicato, oltre ad essere erroneamente georiferito, conteneva una serie di valori "non reali" (per la presenza di corpi d'acqua) e "mancanti" (risultanti dall'effetto di *shadowing* e *layover* dovuti al ra-

dar). Il DEM finale è quindi frutto di una nuova interpolazione per la georeferenziazione, di un *clip* per eliminare i valori “non reali” e di un’ultima interpolazione dei valori “mancanti”. In dettaglio, la copertura totale dell’Italia è stata ottenuta mosaicando le 91 mattonelle di *Lat-Long* all’interno di ArcInfo (©ESRI) utilizzando un linguaggio Arc-Macro. Dopo una prima verifica di buona sovrapposizione delle 91 mattonelle, il *dataset* mosaicato è stato convertito tramite interpolazione bilineare in formato *grid*, georeferenziato e poi proiettato in coordinate geografiche (*datum* WGS84). La successiva elaborazione ha riguardato la “ripulitura” dei valori errati (dovuti al mare nelle vicinanze della linea di costa) tramite *clip* con linea di costa in formato vettoriale. Il *dataset* SRTM presentava 1.305.584 *pixel* con valori *no data* (3% dell’intero territorio) per un totale 10.575 km². Per eliminare tali valori è stata eseguita un’altra interpolazione utilizzando un algoritmo di minima curvatura attraverso i *pixel* mancanti.

L’algoritmo di minima curvatura forza la ricostruzione della superficie topografica passante per i *pixel* mancanti, tramite curvature minime della topografia, dove la cumulata, somma dei quadrati della seconda derivata dei valori nell’intorno dei *pixel* mancanti, deve essere quella minima, per derivate successive:

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j)$$

dove: $j = 1, 2, \dots, N$; $N =$ numero di punti; $r_j =$ distanza tra il punto (x, y) dal punto j^{imo} ; $T(x, y)$ e $R(r)$ sono definiti a seconda dei valori calcolati per le tensioni di interpolazione interna e di confine.

Come ultima elaborazione, i valori errati dovuti ai corpi d’acqua presenti all’interno del territorio italiano sono stati mascherati con 2 valori fortemente negativi tenendo conto della loro tipologia (laghi endoreici e laghi esoreici, fig. 3).

L’analisi di accuratezza del DEM SRTM dell’Italia (TARAMELLI & REICHENBACH, 2005) in confronto a diversi DEM ricavati da digitalizzazione di curve di livello e a differenti risoluzioni, ha evidenziato pesanti problemi di *shadowing* e *layover*, in particolare in zone rilevate come l’area alpina, con errori di stima di quota variabili tra i $-60/+60$ m. L’interpolazione finale ha consentito la correzione, a scapito dell’accuratezza (fig. 4).

In altre zone meno rilevate, quali gli Appennini, le aree con valori *no data* sono minori e

l’accuratezza di interpolazione è rimasta elevata. Altri DEM a maggiore risoluzione (25 m o 6 m) presentano maggiori errori di stima delle quote variabili tra $-40/+40$ m rispetto al range di $-20/+20$ m del DEM SRTM.

3. - ESEMPIO DI METODOLOGIA: ANALISI IPSOMETRICA DEL BACINO DEL F. CORNO

L’analisi idrologica in ambiente GIS si avvale di (*hydrologic modelling*) in grado di generare dati vettoriali (punto, linea e poligono) e raster delle principali e più significative grandezze di un reticolo idrografico a partire da un modello tridimensionale del terreno. Lo sviluppo di dati idrologici è definibile quindi come un processo di compilazione di parametri idrografici derivati da dati digitali (*grid_dem*). Se sviluppati in ambiente GIS, i nuovi parametri sono utilizzabili come differenti layers che, in combinazione con altri modelli analitici, forniscono attributi secondari utilizzabili in diverse ed ulteriori analisi di modellazione territoriale.

Il bacino del F. Corno (fig. 5) è stato scelto come area *test* perché storicamente interessato da eventi di piena che lungo le aree di fondovalle hanno rappresentato situazioni di rischio per le infrastrutture e i nuclei abitativi presenti.

In figura 6 è riportata un’immagine aerea dell’asta del F. Corno nei pressi dell’abitato di Serravalle dove sono ben evidenti le condizioni di dissesto gravitativo che interessano i versanti in disequilibrio e i fenomeni di sovralluvionamento che coinvolgono il fondovalle.

Il reticolo idrografico è caratterizzato, in generale, da un’energica erosione lineare, conseguenza della rapida incisione derivata dal brusco sollevamento che, nel Pleistocene inferiore, ha interessato l’intero Appennino centrale. La rete drenante si è dovuta adattare al rapido cambiamento del livello di base che, dapprima ha indotto all’erosione regressiva i collettori principali, poi ha imposto il “ringiovanimento” ai tributari di ordine minore, tra cui appunto quelli relativi all’area in oggetto. Pertanto, in linea di massima, i versanti di questi corsi d’acqua si presentano in disequilibrio, con un tipico profilo convesso-concavo. Le conche intermontane al contrario costituiscono livelli di base locali che hanno interrotto, in più punti, il profilo longitudinale dei corsi d’acqua. Attualmente questi livelli di base sono praticamente stabili e pertanto, lungo le principali aste fluviali, è venuta a mancare anche l’erosione in alveo. Tipi-

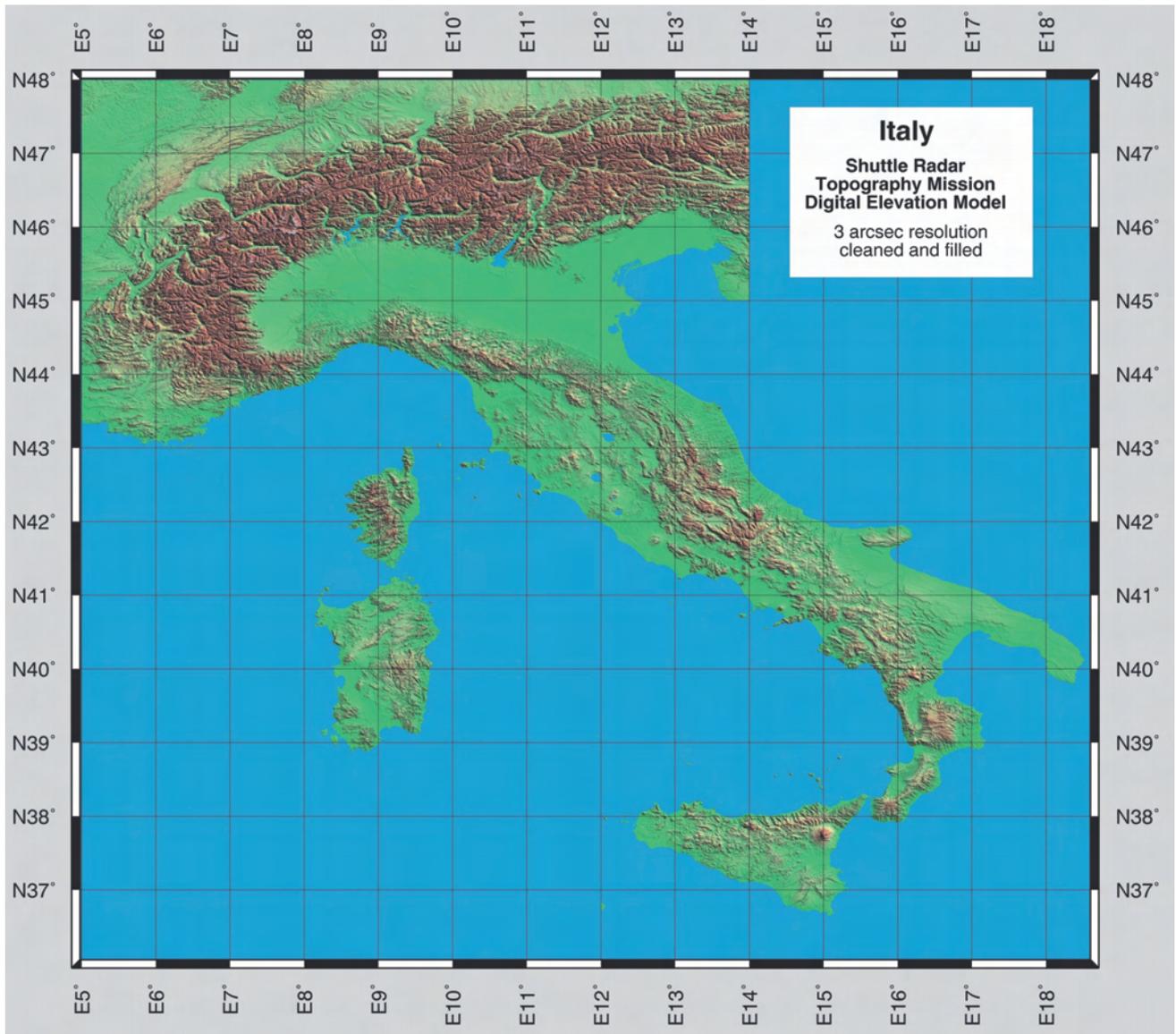


Fig. 3 - DEM SRTM per il territorio italiano (risoluzione: 90m; proiezione: Geographic, Datum WGS84).
 -SRTM DEM of Italy (90m resolution). The Projection is Geographic, Datum WGS84.

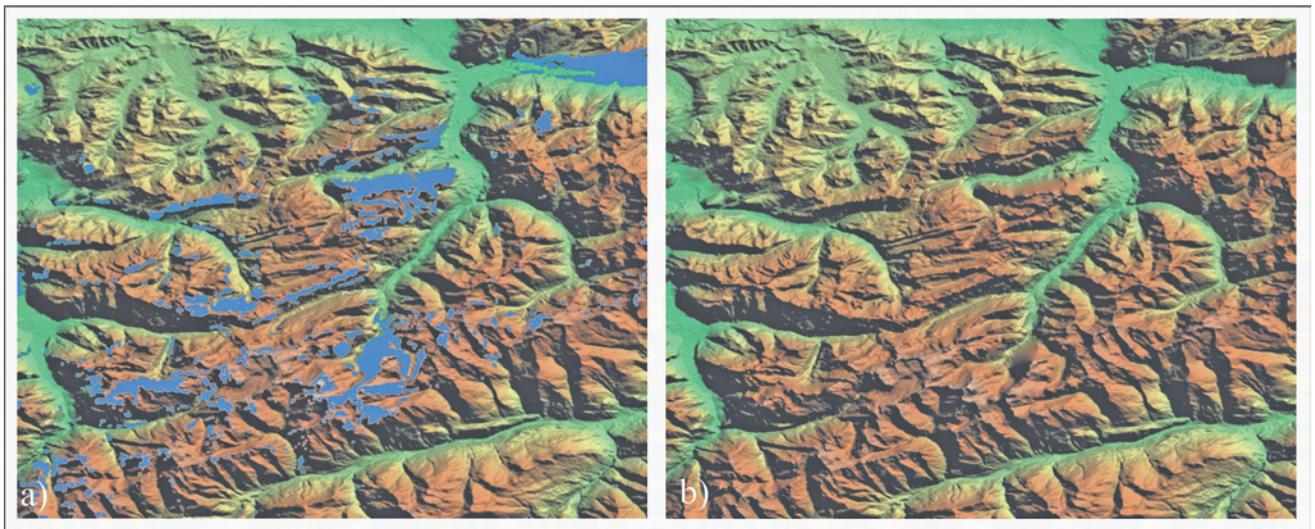


Fig. 4 - Esempio di correzione di errori (holes) nel DEM originale per l'area alpina.
 - Example showing holes interpolation in an Alpi area section.

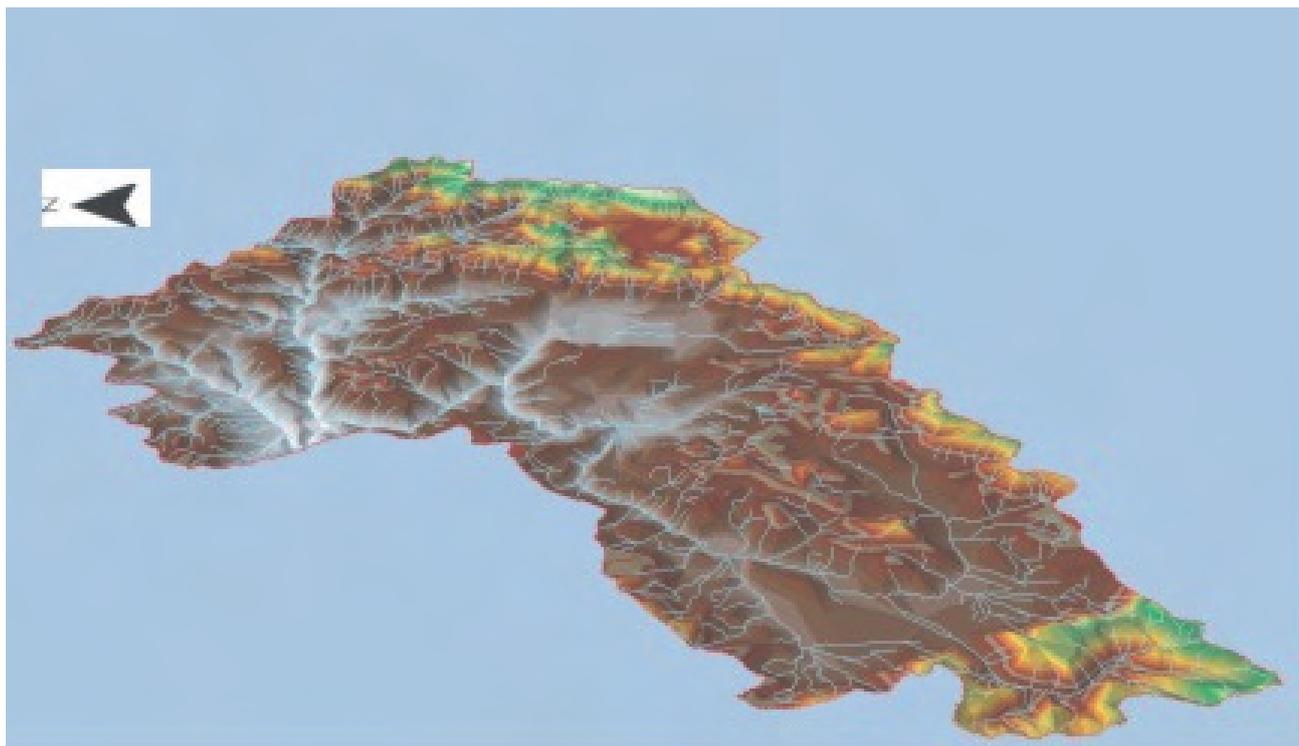


Fig. 5 – TIN del Bacino del Fiume Corno.
 – TIN of the Corno river basin.

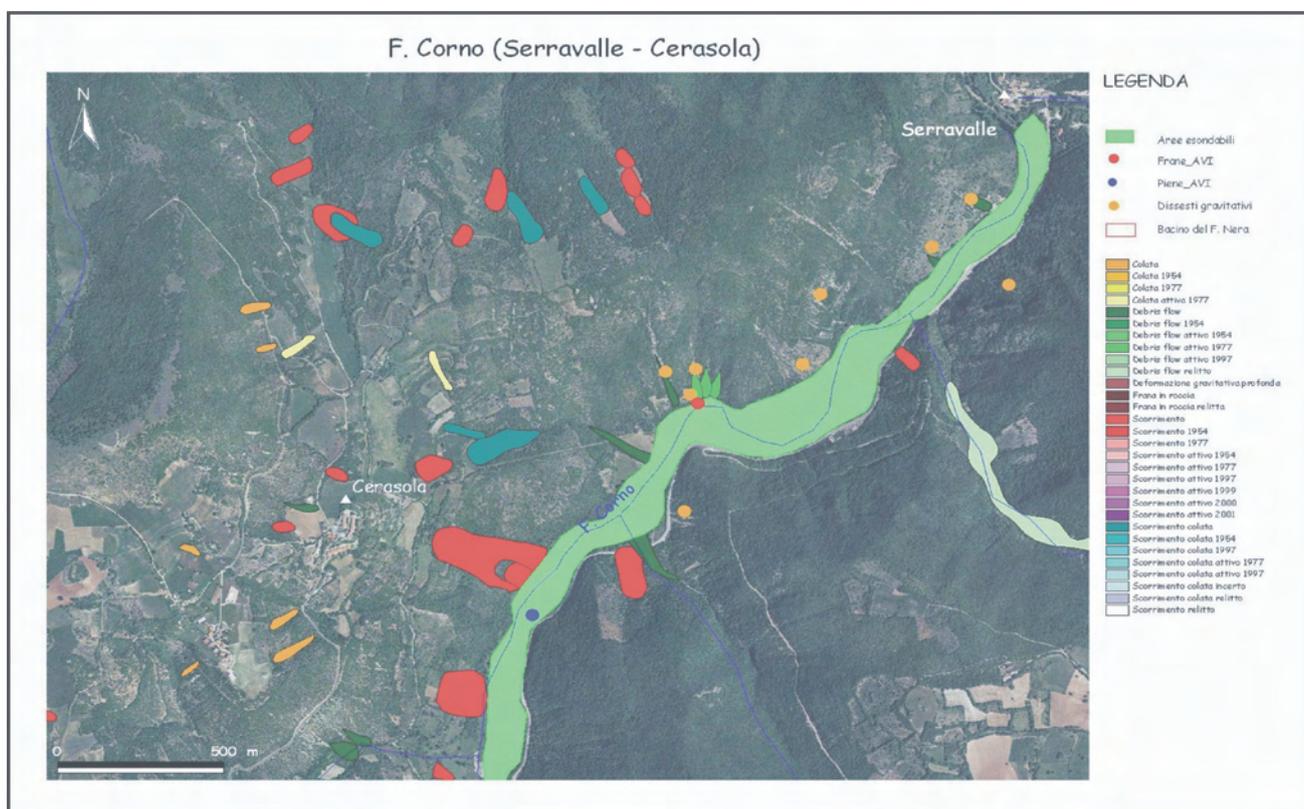


Fig. 6 – Un tratto del F. Corno con in evidenza i versanti interessati da dissesto gravitativo e il fondovalle esondabile con localizzazione di eventi di piena passati.
 – Corno river segment highlighting slopes with mass movement events and alluvial plain with the location of past flooding events.

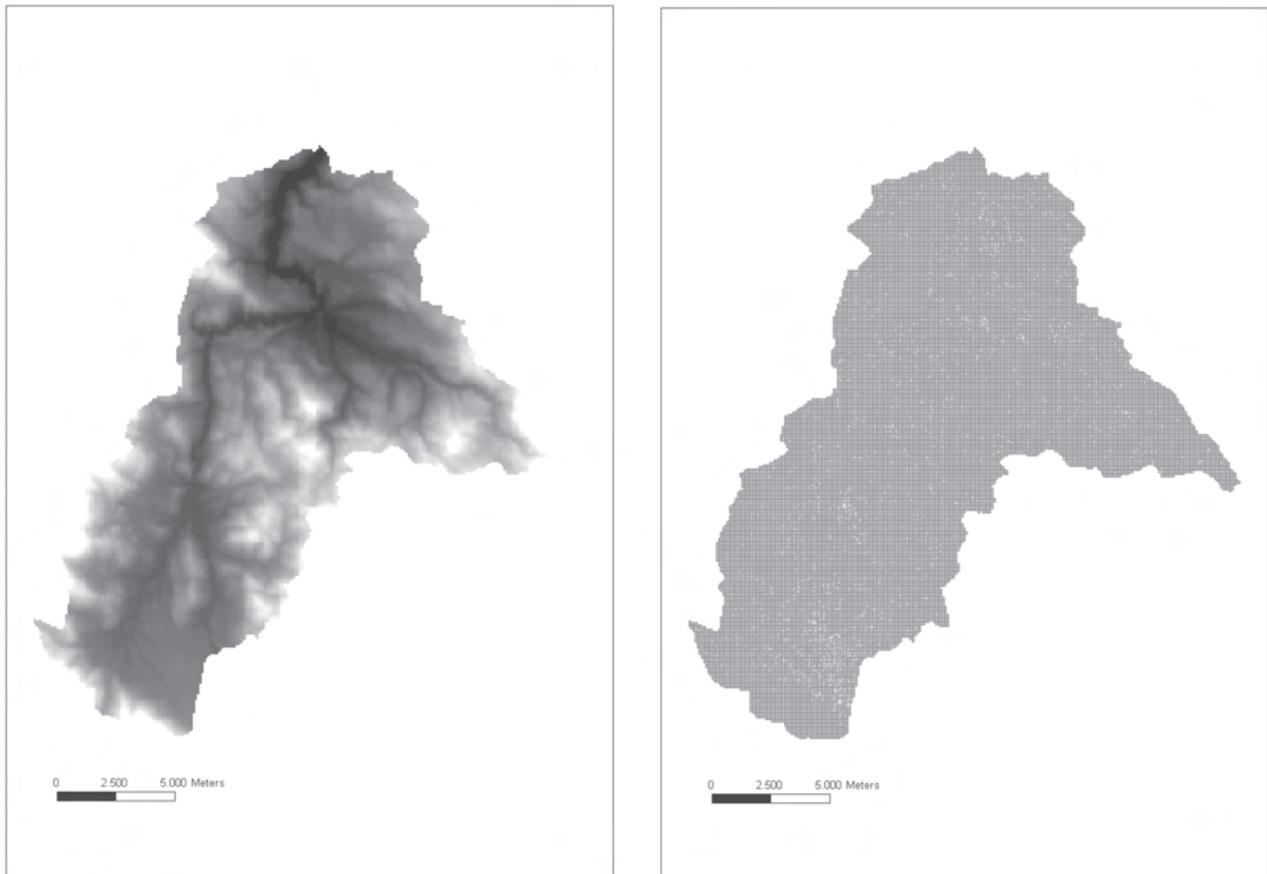


Fig. 7 - Elaborazione di grid integer e successiva conversione in file vettoriale del bacino del Fiume Corno.
 - *Grid integer processing with the next step in shape conversion of the Corno river basin.*

co al riguardo è proprio il F. Corno che alterna fasi erosive e accumulo di materiale clastico più o meno sempre alla stessa quota delle singole sezioni.

Per il F. Corno è stata derivata in automatico dal DEM SRTM la corrispondente curva ipso-metrica, una curva cumulativa che rappresenta la distribuzione percentuale delle altezze rispetto alle aree. L'andamento della curva corrisponde al grado di evoluzione del bacino. Tratti convessi possono corrispondere a stadi evolutivi di ringiovanimento con sostanziali eccessi di massa, andamenti concavi a condizioni più vicine al profilo d'equilibrio. La sua individuazione con tecniche di estrazione in automatico dal DEM si rende auspicabile rispetto ai tradizionali metodi di calcolo per i motivi di seguito esposti e già in precedenza accennati:

1) la ricostruzione del reticolo idrografico, e dei versanti sottesi dal bacino con un DEM SRTM è più vicina al reale delle carte topografiche tradizionali e dei DEM ricavati da digitalizzazione di CdL;

2) i caratteri calcolati in automatico vanno a costituire layers indipendenti riutilizzabili in analisi successive e più complesse;

3) il metodo garantisce una minore percentuale d'errore e tempi di realizzazione decisamente inferiori rispetto ad altri tipi di calcolo.

Nella fattispecie per l'identificazione del reticolo idrografico del bacino del F. Corno si sono prodotti i seguenti tematismi:

1) la delimitazione in formato vettoriale (poligonale) del bacino e dei principali sottobacini;

2) la rete idrografica superficiale in formato vettoriale (lineare) con attributi quali-quantitativi come la lunghezza dei singoli collettori;

3) Il coefficiente di *runoff* e la distanza di *runoff* utilizzabili in particolare per il calcolo dei tempi di corrivazione.

La procedura prevede l'*input* di un primo layer in formato grid (DEM SRTM). La successiva estrazione dei bacini idrografici si basa sul metodo degli otto punti puri (PUECKER *et alii*, 1975) che assegna una direzione di flusso (*flow direction*) ad ogni cella in relazione a quelle vi-

cine con minori valori di elevazione. È importante notare come un DEM non processato (*raw*) spesso contiene frequenti errori che il metodo visualizza e considera come dei veri e propri “buchi” dove far terminare l’elaborazione del reticolo idrografico. Per ovviare a questo inconveniente sono stati creati degli algoritmi che innalzano il valore dell’elevazione fino al raggiungimento dello “*status*” di punto puro.

Questo procedimento è ormai considerato in automatico nel processo di definizione del *flow vector grid* (direzione di deflusso superficiale). Una volta che questo è stato individuato, può essere elaborato un *grid* di *flow accumulation* (accumulo del flusso superficiale) contando il numero di celle che contribuiscono alla direzione principale di flusso (celle il cui flusso passa attraverso altre celle).

Le celle che ricostruiscono lo *stream network* avranno un alto valore di *flow accumulation*, mentre celle vicine o coincidenti alla linea spartiacque dei bacini saranno caratterizzate da un basso valore di *flow accumulation*. È in questo *step* che sono identificati i limiti dei bacini e dei sub-bacini. Il processo è simile a quello del *flow accumulation*, in quanto ogni *flow direction* di ogni cella è calcolato finché non incontra o un *outlet* di sottobacino o la parte sommitale del *grid*. Nel primo caso gli viene assegnato l’ID di quel bacino da quell’*outlet point*. Se incontra la parte sommitale del *grid* gli viene assegnato il valore di *no_data*, intendendo che non contribuisce a nessun punto di *outlet*. Il processo di assegnazione di ID di bacino può essere ottimizzato tramite l’assegnazione di ID di bacino a tutte le celle di *upstream* a partire da punto di *outlet*. Quando, al termine del processo, una direzione di flusso incontra una cella di corso d’acqua (*stream cells*), gli viene assegnato l’ID del bacino sotteso dal corso d’acqua.

Una volta ottenuta la rete idrografica sottesa al bacino del F. Corno e la delimitazione del bacino stesso si è proceduto al calcolo dei diversi valori alfa numerici correlati tramite un processo di vettorializzazione del DEM attraverso una sua prima conversione in *grid integer* (fig. 7).

In ultima analisi si è passati al calcolo della curva ipsometrica per il quale ci si è avvalsi di un foglio di calcolo elettronico con i valori di aree e altezze derivati direttamente dal *layer* vettoriale (fig. 8).

Il risultato, rappresentato in figura 9, riporta la curva ipsometrica, di facile interpretazione

GRIDCODE	Cnt_GRIDCO	Sum_Area	Cum_area
507,00	1,00	8100,00	8100
508,00	1,00	8100,00	16200
511,00	2,00	16200,00	32400
513,00	1,00	8100,00	40500
514,00	2,00	16200,00	56700
516,00	4,00	32400,00	89100
517,00	1,00	8100,00	97200
518,00	4,00	32400,00	129600
520,00	4,00	32400,00	162000
521,00	2,00	16200,00	178200
522,00	3,00	24300,00	202500
523,00	3,00	32400,00	234900
524,00	1,00	8100,00	243000
525,00	6,00	56700,00	299700
526,00	3,00	32400,00	332100
528,00	2,00	16200,00	348300
529,00	3,00	40500,00	388800
530,00	2,00	16200,00	405000
531,00	3,00	24300,00	429300
532,00	4,00	32400,00	461700
533,00	1,00	8100,00	469800
534,00	2,00	16200,00	486000
535,00	2,00	16200,00	502200
536,00	1,00	8100,00	510300
537,00	2,00	16200,00	526500
538,00	3,00	24300,00	550800
539,00	4,00	32400,00	583200
540,00	4,00	32400,00	615600
541,00	2,00	16200,00	631800
542,00	6,00	48600,00	680400
543,00	2,00	16200,00	696600
544,00	1,00	8100,00	704700
545,00	5,00	48600,00	753300
546,00	1,00	8100,00	761400
547,00	5,00	56700,00	818100

Fig. 8 – Foglio di calcolo con valori relativi ad aree e dislivelli estratti in automatico dal DEM.
– Area and relief value automatically extracted from the DEM.

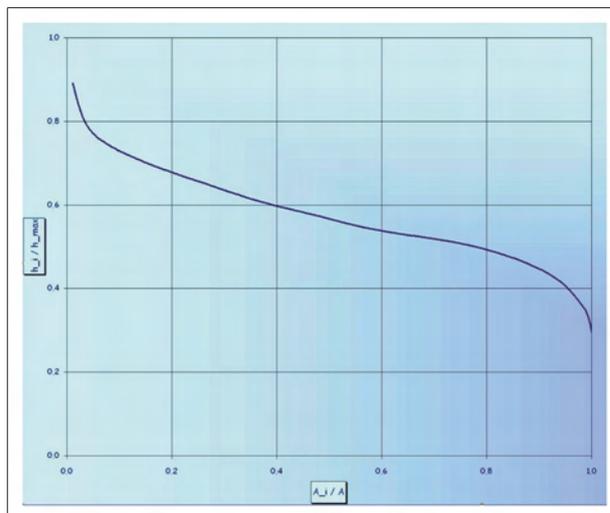


Fig. 9 – Curva ipsometrica del bacino del Fiume Corno.
– Ipsometric curve of the Corno river basin.

e lettura, dove la parte medio terminale marcatamente convessa giustifica il sollevamento del territorio e l'incisione dello stesso da parte del collettore principale.

4. - CONCLUSIONI

In geomorfologia nuovi strumenti stanno affiancando o supportando le tradizionali tecniche di rilevamento e di calcolo per l'analisi geomorfica quantitativa. La natura territoriale e spaziale dei dati trattati rende questo tipo di informazioni ideali come dati di input nei sistemi GIS. Il telerilevamento si integra sempre più strettamente con i sistemi GIS fornendo *Landscape Evolution Models* per la visualizzazione e l'elaborazione del modellato topografico superficiale. Tra questi i DEM rappresentano un'ottima soluzione per l'analisi dei parametri territoriali. Tuttavia il metodo di derivazione del DEM può costituire un limite all'attendibilità del dato. Per questo, DEM derivati da digitalizzazione di CdL contengono una serie di errori di cui sono privi analoghi modelli ottenuti direttamente da dati telerilevati. In questo quadro, per il territorio italiano, l'elaborazione di un DEM ottenuto da dati radar (missione SRTM) ha consentito la restituzione di un modello del terreno particolarmente fedele al reale. Il lavoro sintetizza gli *step* che si sono resi necessari per la sua realizzazione, i problemi incontrati nell'analisi del dato grezzo e le misure messe in atto per la successiva correzione.

Inoltre, riporta un esempio di analisi geomorfica quantitativa applicato ad una test area corrispondente al bacino del F. Corno (Umbria, Italia centrale). Il calcolo delle aree e delle altezze derivato dal DEM SRTM, consente la restituzione di una curva ipsometrica più corretta e realistica di quanto può essere ottenuto dalle tradizionali tecniche di calcolo con evidenti vantaggi non solo nella qualità del dato ma anche nei tempi e nei costi di elaborazione. L'andamento della curva, e il tipo di evoluzione del bacino, sono noti sia da letteratura che da evidenze di campagna e concordano con un reticolo idrografico in rapido approfondimento ben lontano da una condizione di equilibrio. Gli episodi storici di alluvionamento censiti lungo i tratti finali dei principali collettori, confermano la tendenza del reticolo ad erodere nelle zone di testata e a sedimentare con episodi di repentini e considerevoli alluvionamenti in quelle terminali.

BIBLIOGRAFIA

- ABRAHAMS A.D. (1984) - *Channel networks: a geomorphological perspective*, Water Resources Research, **20** (2): 161-168.
- BAND LE. (1986) - *Topographic partition of watersheds with digital elevation models*, Water Resources Research, **20** (2): 161-168.
- BURROUGH P.A. & MCDONNELL R.A. (1998) - *Principles of Geographical Information Systems*, 2nd Edition, Oxford University Press.
- EVANS I. (1980) - *An integrated system of terrain analysis and slope mapping*. Z. Geomorph., Suppl. **36**: 274-295.
- GUZZETTI, F., CARDINALI, M. & REICHENBACH, P. (1994), *The AVI project: A bibliographical and archive inventory of landslide and floods in Italy*, Environmental Management, **18** (4): 623-633.
- HOOPER D.M., MARCUS I., BURSİK B. & WEBB F.H. (2003) - *Application of high-resolution, interferometric DEMs to geomorphic studies of fault scarps, Fish Lake Valley, Nevada-California, USA*, Remote Sensing of Environment, **84**: 255-267.
- PUECKER T.K. & DOUGLAS D.H. (1975) - *Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data*, Computer Graphics and Image Processing, **4**: 375-387
- ROERING J., KIRCHNER W. & DIETRICH W. (2005) - *Characterizing structural and lithologic controls on deep-seated landsliding: Implications for topographic relief and landscape evolution in the Oregon Coast Range, USA*, Journal of Geophysical Research, **106**(B11): 26787-26789.
- SPEIGHT J.G. (1984) - *The role of topography in controlling through-flow generation: a discussion*, Earth Surf. Processes Landforms, **5**: 187-191.
- STARK C.P. & STARK G.J. (2001) - *A channelization model of landscape evolution* Am. J. Sci., **301**: 486-512.
- TARAMELLI A. & REICHENBACH P. (2005) - *Comparison of SRTM elevation data with other topographic dataset for Italy*. Workshop on "The Shuttle Radar Topography Mission - Data Validation and Applications", Reston, Virginia, USA, June 14-16, 2005, http://edc.usgs.gov/conferences/SRTM/presentations/Poster04_Taramelli.pdf.
- TARAMELLI A. & BARBOUR J. (2005) - *A new landform DEM of Italy using SRTM data*. AIT, in stampa.
- TUCKER G.E., CATANI F., RINALDO A. & BRAS R. L. (2001a) - *Statistical analysis of drainage density from digital terrain data*, Geomorphology, **36**:187-202.
- TUCKER G.E., LANCASTER S.T., GASPARINI N.M. & BRAS R.L. (2001b) - *The channel hillslope integrated landscape development (CHILD) model*. In: R.S. HARMONAD & W.W.I. DOE (Eds.): "Landscape erosion and sedimentation modeling". pp. 349-388, Kluwer Acad., New York.
- TUCKER G.E. & BRAS, R.L. (1998) - *Hillslope processes, drainage density, and landscape morphology*. Water Resources Research, **34** (10): 2751-2764.
- WHITE A. & WANG Y. (2003) - *Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline*. Remote Sensing of Environment, **85**: 39-47.
- WHITESITT J.W. (Ed.) (1995) - *Boolean algebra and its applications*, pp.182, Dover Publ. Inc., New York.