

LUIGI FORNI (\*) & BORTOLO FRANCESCHETTI (\*)

## PARAMETRI GEOMORFICI QUANTITATIVI E MOMENTO EVOLUTIVO DI UN RETICOLO IDROGRAFICO: APPLICAZIONE AL BACINO DEL TORRENTE CERVO (Biellese) (\*\*)

ABSTRACT: FORNI L. & FRANCESCHETTI B., *Quantitative geomorphic parameters and evolutionary moments of an hydrographic network: application to the T. Cervo basin near Biella (Piedmont, Italy)* (IT ISSN 0084-8948, 1981). The proof of the existence of a connection between the evolutionary moment of a catchment basin and the morphometric parameters of its fluvial network, has led the authors to verify the possibility of judging a region's evolutionary stage by means of a quantitative geomorphic analysis of its hydrography. Compared to a previous experience, based essentially on the indications provided by the conservativity parameter, special importance has been given to the connection between drainage frequency and density (MELTON, 1958). The reading of a hydrographic network of the basin of T. Cervo (Biellese), and starting from his premises, has led to the deduction, by a simple comparison of the quantitative parameters, of some indications on the evolutionary moment and on some elements of the local Geomorphology, tallying with data provided by direct observation.

RIASSUNTO: FORNI L. & FRANCESCHETTI B., *Parametri geomorfici quantitativi e momento evolutivo di un reticolo idrografico: applicazione al bacino del T. Cervo (Biellese)* (IT ISSN 0084-8948, 1981). La constatazione dell'esistenza di un legame tra momento evolutivo di un bacino idrografico e parametri morfometrici del suo reticolo fluviale, ha portato gli autori a verificare la possibilità di valutare lo stadio evolutivo di una regione attraverso l'analisi geomorfica quantitativa della sua idrografia. Rispetto a una precedente esperienza, impostata essenzialmente sulle indicazioni fornite dal parametro conservatività, si è qui dato risalto al rapporto tra frequenza e densità di drenaggio (MELTON, 1958). La lettura del reticolo idrografico del bacino del T. Cervo (Biellese) partendo da queste premesse ha consentito di dedurre, dal semplice confronto dei parametri quantitativi, delle indicazioni sul momento evolutivo e su taluni elementi della Geomorfologia locale in accordo con i dati forniti dalla osservazione diretta.

TERMINI-CHIAVE: dinamica geomorfologica; ciclo d'erosione; rete idrografica; Biellese.

### INTRODUZIONE

La constatazione di un preciso nesso fra tendenza evolutiva di un bacino idrografico e parametri morfometrici del suo reticolo fluviale, ha portato gli autori a porsi già in precedenza il problema della possibilità di valutare il momento evolutivo di un sistema idrografico, e di riconoscere in esso l'incidenza di eventi morfogenetici anteriori a quelli in atto, servendosi dei parametri dell'analisi geomorfica quantitativa.

Un approccio sul bacino del Chisone-Germanasca, nel Pinerolese, partendo dal concetto di bacino conservativo

(MELTON, 1958), inteso come bacino limite di comparazione, e servendosi del parametro *anomalia gerarchica* (AVENA, GIULIANO & LUPA PALMIERI, 1967) espresso in forma diversa dall'originale (indice di gerarchizzazione)<sup>(1)</sup> portò a una risposta solo in parte positiva (FRANCESCHETTI & FORNI, 1979). Ciò nel senso che, se il confronto dei parametri assunti come indicativi dello stato di organizzazione gerarchica del reticolo idrografico permetteva di riconoscere precise tendenze, in rapporto alle diverse situazioni evolutive esistenti nel bacino, esso non consentiva tutto sommato di andare al di là della verifica di una condizione necessaria.

Un passo avanti venne consentito dall'analisi della distribuzione delle influenze anomale all'interno del reticolo (BIANCOTTI & FRANCESCHETTI, 1979a; 1979b; 1979c). Ci si convinse però che, per poter dedurre indicazioni morfogeneticamente corrette sul momento evolutivo di un reticolo idrografico, dal confronto dei parametri quantitativi necessitavano anche altri elementi di giudizio. Tenendo presente che un qualsiasi modello gerarchico è per sua stessa natura un sistema ordinale, che quindi non tiene conto delle reali dimensioni del bacino, si è pensato di utilizzare la relazione statistica trovata da MELTON (1958) tra frequenza dei canali e densità di drenaggio, più volte verificata da altri autori (es. DRAMIS & GENTILI, 1977), la quale, sotto certe condizioni, rappresenta un indice dello stadio evolutivo del reticolo. Questi parametri, mettendo in relazione lo sviluppo lineare e il numero (inteso nel senso di HORTON, cioè geomorfologico) dei segmenti fluviali con l'area del ba-

(\*) Istituto di Geologia, Paleontologia e Geografia Fisica dell'Università di Torino.

(\*\*) Pubblicazione n. 373 del Progetto Finalizzato Geodinamica (Contratto 80.01336.89). Il lavoro è il risultato della discussione comune degli autori i quali sentono il dovere di ringraziare il sig. OLIVIO BOTTO per il contributo dato nella parte relativa al rilievo dei dati morfometrici e alla rappresentazione grafica.

(1) L'indice di gerarchizzazione è dato dalla:  $I_g = N_1 / (Ga + N_1)$ , dove  $Ga$  è il numero di anomalia gerarchica e  $N_1$  la totalità dei segmenti di ordine 1. Si precisa che tutti i riferimenti ai parametri della gerarchizzazione sono fatti sulla base dello schema gerarchico proposto da A. N. STRAHLER (1957).

cino, definiscono delle grandezze strettamente legate alle caratteristiche geometriche e alla struttura gerarchica del reticolo fluviale, nonché al grado di dissezione del bacino.

#### SIGNIFICATO GEOMORFICO DELLE INFLUENZE ANOMALE E DEI PARAMETRI FREQUENZA DEI CANALI E DENSITÀ DI DRENAGGIO

È noto che la prima legge di HORTON prevede che i valori dei rapporti di biforcazione del reticolo idrografico di un bacino, inteso come unità geomorfica (LEOPOLD, WOLMAN & MILLER, 1964), tendano ad assumere un valore costante, dato che il numero dei segmenti fluviali di diverso ordine presenti nel reticolo tende a coincidere con valori ordinati secondo una progressione geometrica. Scostamenti da questa linea di tendenza teorica vengono principalmente interpretati come dovuti a controlli litostutturali, frequentemente messi in luce dalla presenza di anomalie nella gerarchizzazione.

L'incidenza di queste ultime è di percezione abbastanza immediata confrontando i rapporti di biforcazione normale, che si calcolano facendo il rapporto tra i segmenti fluviali di ordine  $u$  e quelli di ordine  $u+1$  indipendentemente dalla effettiva influenza di segmenti di ordine  $u$  in quelli di ordine immediatamente successivo, coi rapporti di biforcazione diretta che invece ne tengono conto (AVENA & LUPIA PALMIERI, 1969).

È perciò evidente che la conoscenza della effettiva distribuzione delle influenze anomale, può contribuire a motivare una parte maggiore o minore degli scostamenti dalla legge statistica di tendenza della composizione del reticolo idrografico e, di conseguenza, alla valutazione del suo momento evolutivo.

In questo contesto, tenuto conto che con i dati che hanno consentito il calcolo dei rapporti di biforcazione normali e diretti, si possono ricavare tutti gli altri indici morfometrici (conservatività, numero di anomalia gerarchica, indice di anomalia gerarchica, ordine del bacino) sembra utile soffermarsi:

— sulla distribuzione percentuale dei segmenti anomali (e sui relativi numeri di anomalia gerarchica) indipendentemente dall'ordine dei segmenti in cui essi influiscono);

— sull'incidenza percentuale delle influenze anomale (e dei corrispondenti numeri di anomalia gerarchica) relativamente ai singoli ordini dei segmenti recipienti.

È però opportuno precisare che, sia pure come caso limite, un reticolo idrografico privo di influenze anomale potrebbe ugualmente mostrare decisi scostamenti dalla prima legge di HORTON; per contro un reticolo che possiede una eccellente regolarità nella sequenza dei rapporti di biforcazione può benissimo contenere numerosi segmenti anomali. Nei casi concreti gli scostamenti dalla regolarità statistica sono da imputare alla presenza di segmenti e di rapporti di biforcazione anomali, dovuti o a vincoli litostutturali, o a condizionamenti riferibili a situazioni morfologiche ereditate, o a irregolare e ineguale sviluppo del ciclo erosivo.

Quindi il numero di anomalia gerarchica ( $G_a$ ), l'indice di gerarchizzazione ( $I_g$ ) e l'esame della distribuzione delle influenze anomale forniscono indicazioni (ricavate peraltro

dalla parte gerarchicamente anomala del bacino e da dati puramente ordinali) molto valide sul piano della « regolarizzazione gerarchica » del reticolo idrografico, ma incomplete nei confronti della determinazione del suo stadio evolutivo « globale ».

È a questo punto che si ritiene venga utile il già citato rapporto di MELTON tra frequenza dei canali ( $F$ ) e il quadrato della densità di drenaggio ( $D$ ), che sono i due parametri rappresentativi dello stato di dissezione del bacino. Senza entrare in dettagli teorici (per i quali si rimanda al citato lavoro di MELTON) si può osservare che questi parametri sono legati da un reciproco equilibrio dinamico e che il loro rapporto è funzione dello stadio di evoluzione morfologica del bacino, più che dello stato di gerarchizzazione del reticolo. La relazione in discorso:

$$F/D^2 = 0,694 \quad (1)$$

è valida particolarmente per una situazione evolutiva « matura » o assai prossima alla maturità. La (1) si può anche esprimere nella seguente forma:

$$F/D^2 = NA/L^2 = 0,694 \quad (2)$$

dove  $N$  è il numero totale dei segmenti di 1° ordine secondo lo schema gerarchico dello STRAHLER,  $A$  è l'area del bacino e  $L$  la lunghezza dei segmenti.

Questa seconda forma, pur esprimendo il medesimo concetto, ha maggior significato geomorfologico per la valutazione del momento evolutivo del bacino. Infatti, considerando che nella fase « giovanile » il reticolo idrografico si presenta come una struttura piuttosto semplice e con una modesta organizzazione gerarchica, specie per quanto riguarda la frequenza dei canali, sembra potersi ritenere che ad essa corrisponda la situazione

$$NA/L^2 < 0,694 \quad (3)$$

Col procedere dell'azione erosiva i corsi d'acqua diventano più numerosi, si organizzano meglio, la tessitura gerarchica si fa più evoluta e complessa, le anomalie più significative fino a raggiungere un tetto oltre il quale esse tendono a venir progressivamente corrette o meno occasionali. È in questo stadio, della maturità avanzata, che la relazione (2) dovrebbe essere abbastanza soddisfatta.

Successivamente, superata la fase della maturità e entrando in quella in cui lo spianamento dei rilievi è accompagnato dalla progressiva diminuzione della acclività dei versanti e dalla eliminazione degli interfluvi secondari, si tenderà ad osservare una contrazione nel numero dei solchi di scorrimento; a partire da questo momento resteranno praticamente invariate le dimensioni del bacino, avendo il reticolato idrografico già raggiunto il suo massimo sviluppo. Da ciò sembra potersi dedurre che in questa fase il valore del numeratore della (3), come conseguenza della scomparsa di alcuni solchi fluviali, diminuisca proporzionalmente meno del denominatore e quindi possa valere la:

$$NA/L^2 > 0,694 \quad (4)$$

Inserendo anche questo fattore di valutazione nel complesso spettro delle altre indicazioni fornite dall'analisi geomorfica quantitativa (specie i già ricordati parametri relativi alle anomalie di gerarchizzazione) e dalla

lettura delle carte topografica e geologica, sarà più facile valutare il momento evolutivo del reticolo idrografico.

Poiché queste considerazioni si basano su elementi di natura statistica, la loro accettazione presuppone anche una serie di verifiche in bacini aperti su substrati geologici differenti e con diversa storia climatica (sia in senso spaziale che temporale) e morfologica. Gli autori, che stanno conducendo varie ricerche per verificare la validità di questi assunti ritengono utile anticipare i risultati relativi al bacino del T. Cervo nel Biellese.

## IL BACINO DEL CERVO. ANALISI E INTERPRETAZIONE DEI DATI MORFOMETRICI

La scelta degli autori si è orientata sul bacino del T. Cervo che si allunga a monte di Biella, perché la variabilità dei litotipi affioranti, la localizzazione del plutone Terziario omonimo, lo spessore ed estensione della coltre di alterazione, i contrasti morfologici tra la parte di testata e quella prossima allo sbocco al piano, offrono allo sviluppo del drenaggio delle situazioni variamente articolate. Esse si riflettono sulla struttura del reticolo idrografico, e quindi sulla sua tendenza evolutiva; una situazione così varia è stata ritenuta idonea ad una verifica metodologica delle argomentazioni e considerazioni prima svolte.

In questa ottica, per meglio controllare la validità di certi assunti, ci si è soffermati ad analizzare anche taluni sottobacini che, per la loro particolare collocazione e sviluppo del drenaggio offrono la possibilità, attraverso confronti tra loro e col bacino principale, di meglio comprendere la dinamica evolutiva dell'intera idrografia. Misure e conteggi sono stati eseguiti sulle tavolette dell'IGM (scala 1:25 000) integrate da controlli su fotografie aeree e sul terreno. Per l'inquadramento geologico si rimanda a BORTOLAMI, CARRARO & SACCHI (1967).

### a) Frequenza dei canali, densità di drenaggio e loro rapporti.

Tutta la sequenza dei rapporti  $F/D^2$  è minore di 0,694, quindi nessun bacino dovrebbe aver raggiunto la maturità.

L'ampio spettro di valori che caratterizza questo rapporto\* (0,27 ÷ 0,63) rende conto sia delle diversificazioni di assetti esistenti tra le varie parti del bacino del Cervo che del suo valore medio di  $F/D^2 = 0,47$ . Inoltre il gruppo di valori tendenzialmente bassi, ed è forse questo l'elemento geomorfologico più significativo, porta a ricollegare l'attuale prevalenza dell'attività erosiva, con la presenza di un reticolo idrografico ancora in via di sviluppo; ciò in accordo con la presenza di ringiovanimenti connessi con gli assestamenti tettonici recenti, e con l'altrettanto recente ripristino dell'attività erosiva fluviale nelle aree coinvolte nel glacialismo würmiano.

La vicinanza dei valori numerici del rapporto  $F/D^2$  dell'intero bacino ( $C+C_4$ ), del Cervo in senso stretto ( $C$ ) e dell'Oropa ( $C_4$ ) (rispettivamente 0,47, 0,48 e 0,46) indica una loro confrontabilità evolutiva, confermata anche dagli altri parametri morfometrici oltre che dalla forma del bacino  $C_4$ , che ripete in piccolo quella del bacino del Cervo.

Nella sequenza dei rapporti  $F/D^2$  spicca in particolare il contrasto tra i valori calcolati per  $C_1$  (=0,60) e i suoi sottobacini e quelli di  $C_2$  (=0,40) e  $C_3$  (=0,30); ciò si spiega per  $C_1$  con la morfologia ereditata di tipo glaciale ancora evidente, e per  $C_2$  e  $C_3$  col condizionamento litostrutturale. In questi ultimi si nota subito la più elevata densità di drenaggio rispetto alla restante parte del bacino, che si spiega con il fatto che i sottobacini sono aperti nel « Complesso dei micascisti eclogitici » della Zona Sesia-Lanzo, litotipi più degradabili delle rocce intrusive del plutone della Valle del Cervo (graniti porfirici, sieniti e monzoniti).

Il divario esistente tra i valori  $F/D^2$  rispettivamente di  $C_2$  e di  $C_3$  si giustifica con la diversità dei due modelli idrografici. Il minor valore di  $F/D^2$  relativo a  $C_3$ , pur apparendo in contrasto con la verifica di una frequenza più elevata, trova giustificazione nel fatto che i due solchi del 4° ordine (supporto portante del reticolo idrografico del sottobacino) seguono una direzione strutturale, verso la quale vengono attratti anche i segmenti di primo ordine, che vi confluiscono a pettine così che pure quelli di ordine basso appaiono assai allungati.

### b) Rapporto di biforcazione normale ( $R_b$ e $\bar{R}_b$ ) e conservatività ( $S$ e $\bar{S}$ ).

I valori, pur rientrando nella regola variando i rapporti di biforcazione ponderale ( $\bar{R}_b$ ) tra 3,56 e 4,56, sottolineano però la tendenza dei parametri della gerarchizzazione a distribuirsi verso il limite medio-superiore della norma. Tenendo presente che i rapporti di biforcazione elevati sono tendenzialmente indicativi di situazione di reticolo in via di sviluppo, questi dati sarebbero in accordo con quanto dedotto dal confronto dei rapporti  $F/D^2$ .

Questa opinione appare avvalorata, a nostro avviso, dagli alti rapporti di biforcazione propri dei segmenti del 3° e del 4° ordine, soprattutto nei sottobacini  $C_2$  e  $C_3$ , dove il condizionamento litostrutturale risulta più marcato assumendo i segmenti del 4° ordine un po' la funzione di canali di gronda per i segmenti di ordine inferiore.

Queste valutazioni paiono confermate anche dalla distribuzione dei numeri di anomalia gerarchica ripartiti secondo l'ordine dei segmenti recipienti. Da essa si deduce che i massimi valori percentuali sono sempre riferiti al segmento mediamente più lungo. L'unica eccezione è fornita dal bacino del Cervo nel suo insieme dove le anomalie indotte nei segmenti del 5° ordine, collimano con quelle indotte nel segmento del 6° ordine, nonostante la lunghezza di quest'ultimo. Va considerato però che esiste un 5° ordine molto lungo sia nel  $C_4$  che nel  $C_2$ , che da soli determinano 581 unità di anomalia gerarchica su di un totale di 695.

### c) Rapporti di biforcazione diretta ( $R_{bd}$ e $\bar{R}_{bd}$ ) e indice di gerarchizzazione ( $I_g$ ).

I rapporti di biforcazione diretta mostrano serie di valori più omogenee di quelle dei rapporti di biforcazione normale, variando tra 2,79 e 3,5 ed evidenziando una situazione media intorno al valore 3. Al contrario

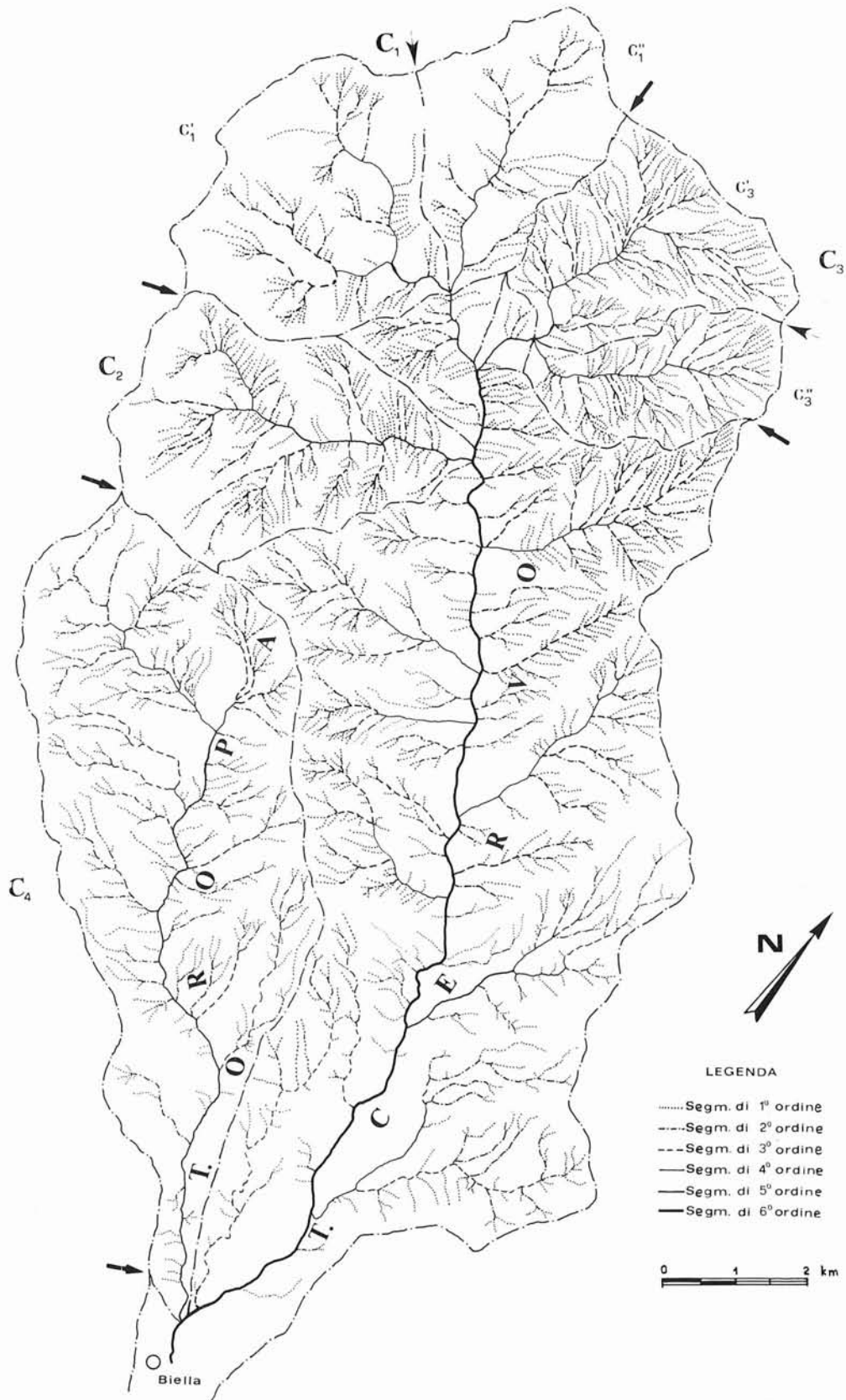


FIG. 1 - Carta del reticolo idrografico del Torrente Cervo.

si notano forti sbalzi nell'indice ponderale di biforcazione ( $\bar{R}$ ) non tanto per lo scarto tra il valore minimo 0,49 e il massimo 1,50, quanto per la irregolarità della loro sequenza rispetto a quella degli  $\bar{R}_{bd}$  e  $\bar{R}_b$ .

Questo si può spiegare rammentando che, essendosi ancora in uno stadio di sviluppo, l'evoluzione della rete idrografica segue vie relativamente indipendenti nei diversi casi. Essa risente sia della diversa erodibilità dei tipi litologici (sieniti, dioriti, micascisti, ecc.) sui quali si sono impostati ed evoluti i bacini, che del condizionamento dovuto alla presenza di una morfologia glaciale ereditata. Avvalora questa affermazione il confronto tra il sottobacino  $C_1$  e il  $C_2$  dove si vede che l'alto valore di  $\bar{R}$  (=1,50) di  $C_2$  rispetto a quello di  $C_1$  (=0,59) è determinato essenzialmente dal minor valore di  $\bar{R}_b$  (=3,56) di  $C_1$  rispetto a quello di  $C_2$  (=4,56).

Lo scompenso è imputabile all'elevato numero di influenze anomale esistente in  $C_2$  rispetto a  $C_1$  concentrate per l'81 % sul solco del 5° ordine. L'analisi ed il confronto delle tabelle n. 2 e 3 rendono ben conto della variabilità degli  $\bar{R}$  e degli  $I_g$  che, tutto sommato, evidenziano in modo ponderato l'incidenza delle diverse anomalie. Si vede rispettata la condizione che quanto più basso è  $\bar{R}$  tanto più elevato è  $I_g$ .

Il confronto dei parametri relativi al bacino Cervo nel suo insieme ( $C+C_4$ ), al Cervo in senso stretto ( $C$ ), e al bacino del torrente Oropa ( $C_4$ ), mette in luce la reciproca autonomia evolutiva di  $C$  e  $C_4$ , rispetto al Cervo chiuso a Biella.

Infatti i valori dei parametri morfometrici dei due sottobacini considerati separatamente ricalcano, con una approssimazione notevole, i parametri del Cervo visto come somma dei due. Ciò sta ad indicare la similitudine dei reticoli dei due bacini dal punto di vista morfometrico, tanto da far ritenere non arbitrario il considerarli geomorfologicamente indipendenti.

## I BACINI MINORI

### a) Sottobacino $C_4$ (Torrente Oropa).

L'elevato valore di  $\bar{S} = 1,04$ , tra i più alti di tutto il bacino, è indice di una scadente conservatività derivata principalmente dagli alti valori del rapporto di biforcazione normale. I rapporti di biforcazione diretta e l'indice di biforcazione  $\bar{R}$ , pari a 0,90, associati a un basso valore di  $I_g$  (43 %), rendono conto che la ridotta conservatività è in buona misura attribuibile alla cospicua presenza di incidenze anomale, il cui corrispondente numero di anomalie gerarchiche è determinato dal collettore principale del 5° ordine per l'83 % del totale.

Questo fatto è spiegabile con la forma allungata del sottobacino e con l'andamento quasi simmetrico rispetto ai versanti del solco principale del 5° ordine già presso la testata, rappresentando un consistente vincolo morfologico attorno al quale si è sviluppata e si impernia tuttora l'evoluzione del bacino.

Il basso valore di  $F/D^2$  (=0,46) unito al basso indice di gerarchizzazione è indicativo di uno stadio abbastanza giovanile, comprovato dagli alti valori e dal campo di variabilità dei rapporti di biforcazione normale.

### b) Sottobacino $C$ (Torrente Cervo fino alla confluenza con l'Oropa).

Procedendo come per il  $C_4$  possiamo osservare che il minor valore della conservatività ( $\bar{S} = 0,96$ ), indica che la situazione del sottobacino in esame, appare globalmente migliore, anche se di poco, di quella del  $C_4$ . Al contrario l'indice di biforcazione  $\bar{R}$ , pari a 1,20, e l'indice di gerarchizzazione  $I_g$  pari al 40,8 %, sottolineano una elevata anomalia gerarchica. Questo non risulta dal valore della conservatività a causa del minor valore di  $\bar{R}_b$  di  $C$  rispetto a quello di  $C_4$ . Questa constatazione è una conferma della opportunità, proposta nel nostro precedente contributo, di leggere l'indice di conservatività alla luce del valore del rapporto di biforcazione diretta e dell'indice di gerarchizzazione.

Anche in questo caso il rapporto  $F/D^2$  e  $I_g$  concordano nell'indicare una situazione evolutiva non ancora equilibrata per l'insieme del bacino.

### c) Sottobacini $C_1$ , $C_2$ e $C_3$ .

Appare evidente dalla carta del reticolato idrografico la netta particolarità nella organizzazione dei reticolati dei sottobacini  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  sottolineata anche dalle accentuate differenze dei valori dei parametri morfometrici, soprattutto  $F/D^2$  e  $I_g$ . Colpisce in particolare il valore di  $F/D^2$  del sottobacino  $C_1$  (=0,60) che farebbe pensare ad una maggiore maturità morfologica rispetto ai due contigui. Poiché le forme dei suoi versanti escludono che si possa essere di fronte a un'area dalla morfologia più evoluta di quelle circostanti, successivamente ringiovanita, l'apparente contrasto si spiega osservando che il sottobacino  $C_1$  si apre su un'area in cui il modellamento glaciale würmiano caratterizza tuttora i tratti morfologici locali. Ricordando che l'esarazione glaciale tende a eliminare l'asperità dei versanti limando i crinali minori e quindi riducendo il numero dei potenziali solchi di deflusso delle acque, ne deriva che un rapporto  $F/D^2$  così elevato è da imputarsi al fatto che lo sviluppo del reticolo fluviale non ha ancora superato i condizionamenti imposti dalla morfologia glaciale preesistente.

Per quanto riguarda i sottobacini  $C_2$  e  $C_3$ , il confronto dei parametri morfometrici evidenzia invece una situazione opposta. I valori molto bassi di  $F/D^2$ , specie per il sottobacino  $C_3$ , non si possono spiegare solo sulla base della constatazione che la morfologia glaciale non appare più condizionante; questo perché le diversità non sono solo di tipo quantitativo, ma anche di organizzazione dei reticoli. Si osserva, infatti, che  $C_2$  e  $C_3$  si staccano anche dai sottobacini del Cervo situati più a valle. Ne consegue la necessità di invocare in essi la presenza di vincoli di natura litostrutturale, che sono di immediato riconoscimento, dato che  $C_3$  e  $C_2$  si aprono, come detto in precedenza, su un litotipo alquanto più erodibile (micascisti esclogitici) rispetto alle plutoniti (graniti, sieniti, monzoniti) affioranti più a Sud. A ciò si accompagna l'evidenza di importanti direttrici tettoniche orientate ENE-WSW sottolineate da numerose linee di faglia, che investono quest'area prossima alla grande cicatrice tettonica che salda la Zona del Canavese agli gneiss del Massiccio dei Laghi (basamento paleozoico delle Alpi Meridionali).

TABELLA 1

BACINO	C <sub>1</sub>	C' <sub>1</sub>	C'' <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C' <sub>3</sub>	C'' <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C	(C+C <sub>4</sub> )	
N <sub>1</sub>	137	93	44	194	251	136	110	274	1177	1451
N <sub>2</sub>	34	22	12	44	68	37	30	69	308	377
N <sub>3</sub>	7	6	2	8	16	9	7	16	76	92
N <sub>4</sub>	3	2	1	2	2	1	1	3	16	19
N <sub>5</sub>	1	1	-	1	1	-	-	1	4	5
N <sub>6</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
N <sub>d1</sub>	101	66	35	131	203	113	90	218	799	1017
N <sub>d2</sub>	24	17	7	30	46	27	19	52	224	276
N <sub>d3</sub>	7	6	2	4	16	9	7	10	56	66
N <sub>d4</sub>	3	2	1	2	2	1	1	3	10	13
N <sub>d5</sub>	1	1	-	1	1	-	-	1	3	5
R <sub>b1</sub>	4,03	4,23	3,67	4,41	3,74	3,67	3,66	3,97	3,82	3,84
R <sub>b2</sub>	4,86	3,67	6,00	5,50	4,18	4,41	4,28	4,31	4,05	4,09
R <sub>b3</sub>	2,33	3,00	2,00	4,00	8,00	9,00	7,00	5,33	4,75	4,84
R <sub>b4</sub>	3,00	2,00	-	2,00	2,00	-	-	3,00	4,00	3,80
R <sub>b5</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00	5,00
R <sub>bd1</sub>	2,97	3,00	2,92	2,89	3,03	3,05	3,00	3,16	2,59	2,69
R <sub>bd2</sub>	3,43	2,83	3,50	3,75	2,81	3,00	2,71	3,25	2,95	3,00
R <sub>bd3</sub>	2,33	3,00	2,00	2,00	8,00	9,00	7,00	3,33	3,50	3,47
R <sub>bd4</sub>	3,00	2,00	-	2,00	2,00	-	-	3,00	2,50	2,60
R <sub>bd5</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	3,00	5,00
S <sub>1</sub>	1,01	1,12	0,84	1,20	0,87	0,84	0,50	0,99	0,91	0,92
S <sub>2</sub>	1,43	0,84	2,00	1,75	1,09	1,05	0,35	1,16	1,02	1,04
S <sub>3</sub>	0,17	0,50	0,00	1,00	3,00	3,50	2,50	1,67	1,38	1,42
S <sub>4</sub>	0,50	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,50	1,00	0,90
S <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1,50
R <sub>b</sub>	4,08	3,87	3,56	4,56	3,99	3,99	3,93	4,08	3,91	3,93
R <sub>bd</sub>	3,02	2,94	2,97	3,06	3,50	3,36	3,17	3,18	2,71	2,79
R	1,06	0,93	0,59	1,50	0,49	0,63	0,76	0,90	1,20	1,14
S	1,04	0,94	0,78	1,28	1,00	1,00	0,97	1,04	0,96	0,97
Ga	122	87	35	347	165	67	68	363	1703	2066
Ig	52,9	51,7	55,7	35,8	60,3	67,0	61,8	43,0	40,8	41,4
A	17,7	10,4	7,3	10,9	12,9	7,2	4,9	26,4	100,0	126,4
L	63,8	40,2	22,6	71,2	102,9	58,1	40,5	125,8	496,7	622,5
D	3,59	3,86	3,09	6,51	8,00	8,30	8,26	4,77	4,97	4,92
F	7,7	8,9	6,0	17,7	19,4	18,8	22,4	10,4	11,8	11,5
F/D <sup>2</sup>	0,60	0,60	0,63	0,40	0,30	0,27	0,32	0,46	0,48	0,47
a <sub>1,3</sub> <sup>x</sup>	11	10	1	21	21	11	7	37	200	237
a <sub>1,3</sub> <sup>y</sup>	11	10	1	21	21	11	7	37	200	237
a <sub>1,4</sub> <sup>x</sup>	24	16	8	12	25	12	13	3	114	117
a <sub>1,4</sub> <sup>y</sup>	72	48	24	36	75	36	39	9	342	351
a <sub>1,5</sub> <sup>x</sup>	1	1	-	30	3	-	-	27	40	67
a <sub>1,5</sub> <sup>y</sup>	7	7	-	210	21	-	-	189	280	469
a <sub>1,6</sub> <sup>x</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	13	13
a <sub>1,6</sub> <sup>y</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	195	195
a <sub>2,4</sub> <sup>x</sup>	7	2	5	5	21	10	11	8	44	52
a <sub>2,4</sub> <sup>y</sup>	14	4	10	10	42	20	22	16	88	104
a <sub>2,5</sub> <sup>x</sup>	3	3	-	9	1	-	-	14	15	29
a <sub>2,5</sub> <sup>y</sup>	18	18	-	54	6	-	-	84	90	124
a <sub>2,6</sub> <sup>x</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20
a <sub>2,6</sub> <sup>y</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	280	280
a <sub>3,5</sub> <sup>x</sup>	-	-	-	4	-	-	-	7	6	13
a <sub>3,5</sub> <sup>y</sup>	-	-	-	16	-	-	-	28	24	52
a <sub>3,6</sub> <sup>x</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	13	13
a <sub>3,6</sub> <sup>y</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	156	156
a <sub>4,6</sub> <sup>x</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6
a <sub>4,6</sub> <sup>y</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	48	48

## PARAMETRI MORFOMETRICI

$N_u$  numero dei segmenti fluviali,  $N_d$  numero dei segmenti fluviali diretti,  $R_b$  rapporto di biforcazione normale,  $R_{bd}$  rapporto di biforcazione diretto,  $\bar{S}$  conservatività,  $\bar{R}_b$  media ponderale dei rapporti di biforcazione,  $\bar{R}_{bd}$  media ponderale dei rapporti di biforcazione diretti,  $\bar{R}$  indice di biforcazione ponderale,  $\bar{S}$  media ponderale delle conservatività,  $G_a$  numero di anomalia gerarchica,  $I_g$  indice di gerarchizzazione,  $A$  area in km<sup>2</sup>,  $L$  lunghezza totale dei canali in km,  $D$  densità di drenaggio in km/km<sup>2</sup>,  $F$  frequenza di drenaggio in numero di canali/km<sup>2</sup>,  $a_{iu}$  numero segmenti di ordine  $i$  anormali ( $x$ ) in segmenti di ordine  $u$  (con  $u \geq i + 2$ ) e equivalente in numero di anomalia gerarchica ( $y$ ).

TABELLA 2

## SEGMENTI ANOMALI RAGGRUPPATI PER ORDINE GERARCHICO E LORO EQUIVALENTI IN NUMERO DI ANOMALIA GERARCHICA

BACINO	1		2		3		4		$\Sigma x$
	x	y	x	y	x	y	x	y	
C <sub>1</sub>	36	90	10	32	-	-	-	-	46
C' <sub>1</sub>	78	80	22	20	-	-	-	-	32
C'' <sub>1</sub>	27	65	5	22	-	-	-	-	14
C <sub>1</sub>	84	75	16	25	-	-	-	-	14
C <sub>2</sub>	9	25	5	10	-	-	-	-	81
C' <sub>2</sub>	64	71	36	29	-	-	-	-	71
C <sub>3</sub>	63	267	14	64	4	16	-	-	33
C' <sub>3</sub>	77	77	18	18	5	5	-	-	31
C <sub>4</sub>	49	117	22	48	-	-	-	-	96
C' <sub>4</sub>	69	71	31	29	-	-	-	-	71
C <sub>5</sub>	23	47	10	20	-	-	-	-	33
C' <sub>5</sub>	70	70	30	30	-	-	-	-	31
C <sub>6</sub>	20	46	11	22	-	-	-	-	96
C' <sub>6</sub>	64,5	68	35,5	32	-	-	-	-	96
C	67	235	22	100	7	28	-	-	471
C+C <sub>4</sub>	70	65	23	27	7	8	-	-	471
C	367	1017	79	458	19	180	6	48	471
C+C <sub>4</sub>	78	59,5	17	27	4	10,5	1	3	567
C+C <sub>4</sub>	434	1252	101	558	26	208	6	48	567
C+C <sub>4</sub>	76	60	19	27,5	4,5	10	0,5	2,5	567

TABELLA 3

## SEGMENTI ANOMALI RAGGRUPPATI SECONDO L'ORDINE DEI SEGMENTI RECIPIENTI E LORO EQUIVALENTI IN NUMERO DI ANOMALIA GERARCHICA

BACINO	3		4		5		6	
	x	y	x	y	x	y	x	y
C <sub>1</sub>	11	11	31	86	4	25	0	-
C' <sub>1</sub>	24	9	67	71	9	20	-	-
C'' <sub>1</sub>	10	10	18	52	4	25	-	-
C <sub>1</sub>	31,5	11	56	60	12,5	29	-	-
C <sub>2</sub>	1	1	15	34	-	-	-	-
C' <sub>2</sub>	7	3	93	97	-	-	-	-
C <sub>3</sub>	21	21	17	46	43	280	-	-
C' <sub>3</sub>	26	6	20	13	54	81	-	-
C <sub>4</sub>	21	21	46	117	4	27	-	-
C' <sub>4</sub>	29,5	13	65	71	5,5	16	-	-
C <sub>5</sub>	11	11	22	56	-	-	-	-
C' <sub>5</sub>	33	16	67	84	-	-	-	-
C <sub>6</sub>	7	7	24	61	-	-	-	-
C' <sub>6</sub>	23	10	77	90	-	-	-	-
C	37	37	11	25	48	301	-	-
C	39	10	11	7	50	83	-	-
C	200	200	158	430	61	394	52	688
C+C <sub>4</sub>	43	12	33	25	13	23	11	40
C+C <sub>4</sub>	237	237	169	455	109	695	52	679
C+C <sub>4</sub>	42	11,	30	22	19	33,5	9	33

Le differenze morfometriche notevoli che si notano tra  $C_2$  e  $C_3$ , soprattutto nei confronti di  $I_g$  e  $F/D^2$ , sono essenzialmente determinate da una minor articolazione dei solchi di ordine 4 nel bacino  $C_3$ , la cui direzione appare di tipo decisamente susseguente rispetto alle direttrici tettoniche.

## CONCLUSIONI

L'attenta lettura dei parametri morfometrici del reticolo del bacino del Cervo e dei suoi sottobacini ci consente di confrontare il momento evolutivo del bacino idrografico con quello che nel classico schema del DAVIS viene indicato come giovanile. È interessante la constatazione della confrontabilità dei parametri quantitativi caratteristici dei due bacini, del Cervo in senso stretto e dell'Oropa, il che consente di concludere l'unitarietà della loro storia geomorfologica e quindi delle vicende geologiche e climatiche del Biellese settentrionale. Spingendoci a considerare i dettagli della struttura del reticolo che drena il bacino del Cervo vero e proprio, si nota chiaramente, anche dalla semplice valutazione visiva del reticolo, che i sottobacini prossimi alla testata mostrano caratteri peculiari, evidenziati in modo preciso dai parametri morfometrici e, in particolare, dal rapporto di MELTON ( $F/D^2$ ). Spicca il valore di questo rapporto nel sottobacino  $C_1$ , prossimo a quello che il MELTON ha ritenuto indicativo di condizione di maturità che, in altri termini, significa conseguimento di una equilibrata struttura organizzativa del reticolo fluviale.

Il contrasto tra questa indicazione e la realtà sottolineata dai parametri quantitativi propri dei contigui sottobacini  $C_2$  e  $C_3$ , può spiegarsi: o con la presenza di condizionamenti indotti dalla precedente attività di un diverso processo geomorfico, o con un sollevamento che ha ringiovanito una morfologia già evoluta verso la maturità.

La seconda delle due ipotesi è da scartare; prima di tutto perché è strano che dell'eventuale paesaggio maturo resti traccia solo nel sottobacino  $C_1$ , data la comparabilità dell'inerzia ai processi di erosione e di demolizione opposta dai tipi litologici affioranti nei tre sottobacini  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ , in secondo luogo perché è da escludere la eventualità di sollevamenti differenziali all'interno del bacino del Cervo così significativi da giustificare le differenze morfometriche riscontrate.

Diverso è il discorso se si considera l'ipotesi, nel sottobacino  $C_1$ , dell'incidenza di assetti e vincoli determinati da morfologie ereditate che, nel caso, non possono che essere conseguenti all'attività glaciale pleistocenica. Poiché la più elevata area di testata è stata abbandonata per ultima dalla coltre glaciale, è comprensibile che in essa vi siano tracce di situazioni altrove già cancellate: ad avvalorare questa ipotesi contribuiscono gli indici di anomalia gerarchica e di biforcazione. Lo studio in loco conferma questa conclusione, essendo evidenti nell'area di  $C_1$ , morfologie glaciali di circo tipiche ben conservate, assieme a estesi accumuli di depositi glaciali.

Ritornando sui sottobacini  $C_2$  e  $C_3$ , le indicazioni fornite dall'analisi geomorfica quantitativa sottolineano un'altissima densità e frequenza di drenaggio rispetto ad

altre parti del bacino del Cervo, nonché alti rapporti di biforcazione normale e anomalia gerarchica elevata concentrata sui segmenti fluviali di ordine alto.

Questi dati, anche alla base della tessitura del reticolo, si possono spiegare introducendo due possibilità: presenza di tipi litologici particolarmente degradabili; esistenza di un condizionamento tettonico quale può essere una fascia di fratture orientate ENE-WSW. Di fatto debbono sussistere entrambe le condizioni, perché è indubbio che certe densità di drenaggio sono compatibili solo con la presenza di litotipi degradabili e che l'orientazione ENE-WSW di molti importanti solchi si può spiegare solo con condizionamenti di natura tettonica. L'esistenza delle situazioni ipotizzate è verificabile in loco.

La brusca differenza di tessitura dell'idrografia nella parte centrale del bacino del Cervo, non può che far pensare a un netto cambiamento delle condizioni geolitologiche; anche questa conclusione collima con la presenza delle rocce intrusive del plutone terziario, la cui resistenza all'azione dei processi esogeni è superiore a quella dei micascisti della parte superiore del bacino.

Un'ultima indicazione è suggerita dall'attenta lettura della distribuzione delle influenze anomale che, essendo concentrate nei solchi di ordine più elevato, avvalorano l'opinione che l'evoluzione del reticolo idrografico sia guidata nelle sue linee principali dal condizionamento strutturale.

Riprendendo l'affermazione che sulla base delle indicazioni fornite dai dati morfometrici il momento evolutivo del bacino del Cervo e dell'Oropa va considerato « giovanile », si potrebbe postillare che tale situazione sia da considerarsi conseguente alla ripresa tettonica recente che ha coinvolto il bordo padano di questo settore delle Alpi. A priori tale eventualità non è da escludere, anche in considerazione delle sempre nuove indicazioni di tettonica quaternaria fornite nell'ambito della realizzazione della Carta Neotettonica Italiana promossa dal Progetto Finalizzato Geodinamica. Non risultano dall'osservazione diretta né dai dati morfometrici, indicazioni che permettano di sostenere una fase di ringiovanimento generalizzato di precedenti forme mature. Sono piuttosto da ipotizzare riprese dell'attività erosiva, in coincidenza con riattivazione del sollevamento che hanno impedito il modellamento di forme dai tratti maturi. Questo sarebbe comprovato, oltre che dalla natura delle anomalie dei segmenti fluviali che in esso confluiscono, dal tracciato del solco di deflusso principale, allineato grosso modo NNW-SSE, cioè secondo una direttrice che fa pensare ad un suo approfondimento continuo nel tempo, che gli ha consentito di tagliare le strutture con un meccanismo di pseudoantecedenza.

Il problema della valutazione della velocità di sviluppo del reticolo idrografico rimane tuttora aperto. Infatti se da un lato è possibile sostenere che la velocità di incisione dei solchi dovette essere notevole, dall'altro è altrettanto evidente che essa variava nelle diverse parti del bacino in funzione delle caratteristiche geolitologiche del substrato. Va ricordato, inoltre, che la precedente affermazione della possibilità di ringiovanimenti successivi può falsare la valutazione dato che a ogni ripresa del sollevamento il ciclo erosivo si riattivava, così da pro-

durre dei contrasti tra effettivo ampliamento e approfondimento dei solchi e rilevabilità temporale del processo. Ciò conferma come un qualsiasi tentativo di quantificare la velocità di sviluppo del reticolo idrografico, non può prescindere da un'accurata conoscenza della storia tettonica della regione.

#### BIBLIOGRAFIA

Per una più ampia bibliografia sull'argomento vedi DRAMIS F. & GENTILI B. (1975a).

AVENA G. C., GIULIANO G. & LUPIA PALMIERI E. (1967) - *Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 86, 781-796, 4 ff., 5 tabb.

AVENA G. C. & LUPIA PALMIERI E. (1969) - *Analisi geomorfica quantitativa*, in ACCORDI B. & alii (1969) - *Idrogeologia dell'alto bacino del Liri (Appennino Centrale)*. Geologica Romana, 8.

BIANCOTTI A. & FRANCESCHETTI B. (1979a) - *Analisi geomorfologica dell'alta Valle Grana (Alpi Cozie)*. Regione Piemonte - CNR Progetto Finalizzato Conservazione Suolo. Sottoprogetto Dinamica Versanti. Pubblicazione n. 16. Torino, 24 pp., 8 ff., 1 carta a colori.

BIANCOTTI A. & FRANCESCHETTI B. (1979b) - *Analisi dell'ambiente fisico del bacino del Torrente Stura del Monferrato*. In « Studi dell'IRES sui piani di sistemazione idrogeologica ». Regione Piemonte, 49-101, 2 carte.

BIANCOTTI A. & FRANCESCHETTI B. (1979c) - *Analisi dell'ambiente fisico del bacino del Torrente Rea*. In « Studi dell'IRES sui piani di sistemazione idrogeologica ». Regione Piemonte, 255-310, 2 carte.

BORTOLAMI G., CARRARO F. & SACCHI R. (1967) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia. Foglio 43, Biella*. Serv. Geol. d'Italia, 74 pp., 1 t.

CATTUTO C. (1970) - *Valutazione analitica quantitativa della gerarchizzazione e dello stadio evolutivo di due bacini idrici campione*. Boll. Soc. Natur. Napoli, 79, 175-187, 3 ff., 5 tabb.

CATTUTO C. & POZZA G. C. (1972) - *Analisi geomorfica quantitativa del reticolo idrografico del F. Chiascio (Umbria)*. Atti di: Giornate di studio della I sezione C.I.G.R., 12-16 sett., Firenze, 25-66, 12 ff. (carte e diagrammi).

CANUTI P., MORINI D. & TACCONI P. (1975) - *Studi di Geomorfologia applicata. III) Analisi geomorfica quantitativa del bacino del F. Elsa*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 443-463.

DRAMIS F. & GENTILI B. (1975a) - *Ricerche morfometriche nel bacino del Sentino*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 2085-2130, 22 ff., 9 tabb., 2 tt.

DRAMIS F. & GENTILI B. (1975b) - *La frequenza areale di drenaggio ed il suo impiego nella valutazione quantitativa dell'erosione lineare di superfici con caratteristiche omogenee*. Seduta scientifica sul tema: « La geologia nella pianificazione urbana e territoriale ». Mem. Soc. Geol. It., 14, 337-349, 3 ff., 7 tabb.

DRAMIS F. & GENTILI B. (1977) - *I parametri F (frequenza di drenaggio) e D (densità di drenaggio) e loro variazione in funzione della scala di rappresentazione cartografica*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 637-651, 11 ff., 4 tabb., 1 tab.

FRANCESCHETTI B. & FORNI L. (1979) - *Il concetto di « bacino conservativo » (MELTON) come mezzo di valutazione del momento evolutivo di un reticolo idrografico*. 14 pp., 1 f., Tipolitografia SGT, Torino.

HORTON R. E. (1945) - *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Am. Bull., 56, 275-370.

LEOPOLD L. B., WOLMAN W. G. & MILLER I. P. (1964) - *Fluvial processes in Geomorphology*. W. M. Freeman & Co., San Francisco & London, 522 pp., 47 tabb., 180 ff.

MELTON M. A. (1958) - *Correlation structure of mature drainage systems and their representation in an E<sub>s</sub> phase space*. Journ. Geol., 66, 35-56, 3 tabb., 7 ff.

SCHREVE R. L. (1966) - *Statistical law of stream number*. Journ. Geol., 74, 17-37, 6 tabb., 14 ff.

STRAHLER A. N. (1957) - *Quantitative analysis of watershed Geomorphology*. Am. Geophys. Union Trans., 38, 913-920.