

GERARDO BRANCUCCI (*) & GUIDO PALIAGA (*)

CARATTERIZZAZIONE GEOMORFICA DEI PRINCIPALI BACINI IDROGRAFICI DELLA LIGURIA MARITTIMA - RISULTATI PRELIMINARI

ABSTRACT: BRANCUCCI G. & PALIAGA G., *Geomorphic characterization of the main drainage basins of maritime Liguria (Italy) - Preliminary results.* (IT ISSN 1724-4757, 2005).

The research here synthetically shown regards the geomorphic characterization of the main twentytwo basins in the ligurian region. The aim is to give a new instrument of analysis to the study of the geomorphic evolution of the basins.

We used three different kinds of approach: the quantitative geomorphic analysis of the basins, the analysis of the fractal dimension of the hydrographic networks and the statistical analysis of two kinds of erosion features, the confluence between rivers and the discontinuity in the slope of the watersheds within the basins.

The basins are generally characterized by a low level of hierarchical structure, while the prevailing forms are extended in a direction almost perpendicular to the coastline; besides the erosion processes seem to be strong in almost all the basins.

We have analyzed the distribution with the altitude of the junctions between rivers (particularly the junctions between two rivers of first order and two rivers of second order *sensu* Strahler) and the sudden changes in the slope of the watersheds within the basins.

The two distributions follow the same trends both in every basin and regarding the trend of the more frequent altitude class. This trends seem to be related to the erosion cycles that have interested the basins. Finally the characterization given by the three approaches here presented seems to allow a division of the area in three zones where the data are substantially homogeneously distributed.

KEY WORDS: Geomorphic analysis, Drainage basin, Hydrographic networks, Confluence, Fractal, Terraces, Liguria (Italy).

RIASSUNTO: BRANCUCCI G. & PALIAGA G., *Caratterizzazione geomorfica dei principali bacini idrografici della Liguria marittima - risultati preliminari.* (IT ISSN 1724-4757, 2005).

La ricerca qui sinteticamente presentata ha riguardato la caratterizzazione geomorfica dei principali ventidue bacini idrografici del versante marittimo della Liguria con lo scopo di fornire un nuovo strumento di analisi allo studio della loro evoluzione geomorfologica.

Sono state usate tre diverse tipologie di indagine: l'analisi geomorfica quantitativa, l'analisi della dimensione frattale dei reticoli idrografici e

l'analisi statistica di forme di origine erosiva. Le forme indagate sono le confluente tra aste torrentizie e le rotture di pendenza riscontrate lungo gli spartiacque. I bacini sono caratterizzati da un livello mediamente basso di gerarchizzazione e da forme prevalentemente allungate in direzione perpendicolare alla linea di costa; la stima dei processi erosivi, effettuata per mezzo del calcolo del trasporto torbido unitario annuo, ha fornito valori elevati.

I dati relativi alle confluente torrentizie ed alle rotture di pendenza sono stati analizzati prendendo in esame la distribuzione in funzione della quota sul livello del mare ed effettuando un'analisi per classi di frequenza. Tale analisi ha portato ad ipotizzare una ripartizione dell'area in tre subaree nelle quali i dati mostrano caratteri simili. Inoltre gli andamenti riscontrati sembrano essere correlabili ai cicli erosivi che hanno interessato i bacini stessi.

TERMINI CHIAVE: Analisi geomorfica, Bacino idrografico, Confluente, Frattale, Terrazzi, Liguria.

INTRODUZIONE

Lungo la costa ligure, sono rilevabili testimonianze morfologiche quali terrazzi marini, paleospiegate e varie tipologie di sedimenti chiaramente riconducibili a fasi evolutive legate a variazioni del livello marino.

La correlazione spaziale e temporale di tali forme è resa problematica sia dalla discontinua presenza, se non assenza, di elementi databili sia dalla storia tettonica che ha interessato l'areale; quest'ultima, in particolare, rende le correlazioni geometriche tra le forme stesse poco attendibili poiché i movimenti che hanno caratterizzato l'area non sempre sono determinabili. All'interno dei bacini imbriferi che defluiscono nel Mar Ligure inoltre, mancano, tranne rare eccezioni, terrazzi fluviali correlabili con le forme costiere. Pur potendo ammettere che in un certo momento si siano verificate le condizioni morfologiche idonee alla formazione di ordini di terrazzi fluviali, si può affermare, con buona convinzione, che la rarità di tali forme sia legata al forte potere erosivo dei corsi d'acqua liguri tirrenici che le ha distrutte.

Al fine di ovviare all'assenza di terrazzi fluviali, un'ipotesi è stata suggerita dai lavori di Brancucci & Marini

(*) Laboratorio di Geomorfologia Applicata, Dipartimento POLIS - Università di Genova, stradone S. Agostino, 37 - 16123 Genova.

Si ringrazia l'Ufficio Cartografico della Regione Liguria per il materiale fornito.

(1990 a e b) che individuano, nelle faccette triangolari o trapezoidali, un buon «sostitutivo» di tali forme. Proprio sulla base di queste ipotesi e del buon grado di correlazione che esse hanno mostrato di poter offrire, ha preso spunto il presente lavoro.

Lo studio ha interessato 22 bacini imbriferi sfocianti nel Mar Ligure per un'area investigata di oltre 2.000 km² ed è stato condotto con l'intento di ricercare uno «strumento» di supporto utile all'interpretazione dell'evoluzione plio-quadernaria di questo tratto di versante tirrenico, utilizzando le tecniche della geomorfologia quantitativa (Strahler, 1952; Melton, 1958; Avena & Lupia Palmieri, 1969; Lupia Palmieri & *alii*, 1995, 2001; Ciccacci & *alii*, 1981, 1988, 1992) rispetto alle quali sono state apportate alcune modifiche, soprattutto riferite all'acquisizione dati e meglio descritte in seguito, per consentire una più agevole gestione della mole di dati derivanti dall'analisi stessa.

Le elaborazioni effettuate sono state messe a confronto con gli elementi morfologici desunti dalla bibliografia, ricavandone un quadro che, per quanto preliminare, riteniamo piuttosto interessante e che possa costituire, verificando le ipotesi qui esposte con i dovuti approfondimenti, una buona piattaforma nella comprensione dell'evoluzione dei bacini liguri sfocianti nel Mar Ligure.

INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area in esame (fig. 1), a causa della sua vasta estensione e del complesso assetto geologico-strutturale della regione, presenta caratteri di estrema eterogeneità. Data la complessità geologica dell'area e per dare maggior spazio ai risultati dell'analisi proposta, la natura del substrato è stata sintetizzata nella tab. 1.

In termini generali l'area in esame può essere ripartita in tre zone: il ponente, caratterizzato da un substrato di natura prevalentemente flyschoida; la zona centrale, a substrato prevalentemente di natura intrusivo-metamorfica (massiccio cristallino del Savonese e Gruppo di Voltri); la zona centro-orientale, caratterizzata dalla presenza della Linea Sestri-Voltaggio e da una forte eterogeneità litologica.

Tra i bacini esaminati quelli dei torrenti Aquila, Fiumara, Segno, Varenna e Polcevera presentano caratteri litologici estremamente eterogenei. Inoltre il bacino del T. Aquila presenta una netta ripartizione del substrato: di natura metamorfica nella parte settentrionale e calcareo carsificato nella parte meridionale.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda all'ampia bibliografia disponibile.

STRUMENTI E METODI

L'acquisizione dei dati è stata condotta con l'ausilio di un sistema G.I.S. (Geographical Information System), digitalizzando le informazioni necessarie sulla base cartografica raster georeferenziata della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000. Tale strumento ha consentito di generare un archivio di trentaduemila entità geometriche. Nel contempo si è proceduto ad una verifica sul campo di alcuni casi campione, al fine di controllare e validare l'acquisizione cartografica.

Acquisizione della geometria dei reticoli idrografici

Il considerevole numero di aste fluviali presenti all'interno dei bacini, ha suggerito l'elaborazione di un metodo che consentisse di ottimizzare l'acquisizione delle geometrie dei reticoli idrografici senza doverne memorizzare l'in-

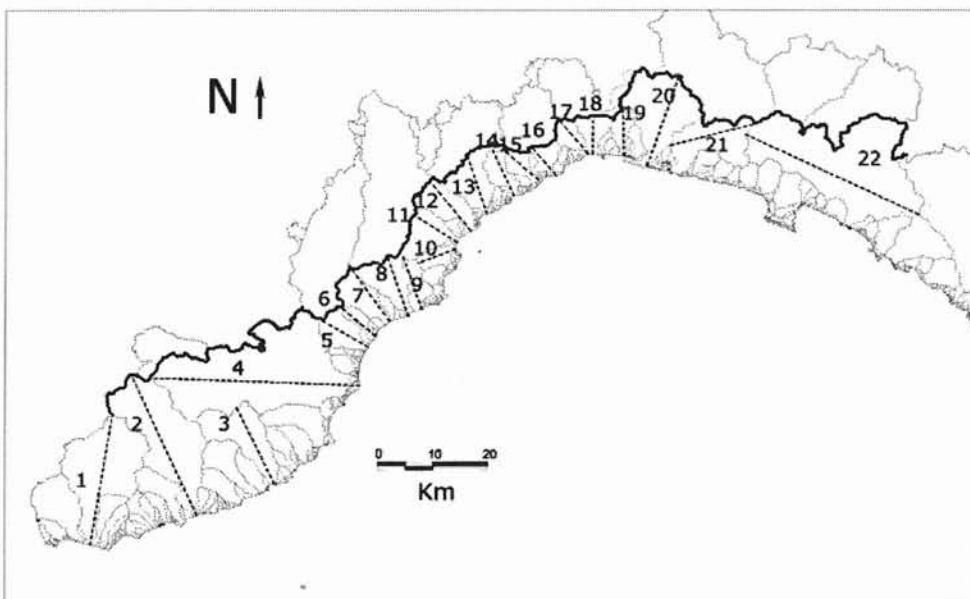


FIG. 1 - Ubicazione geografica dei bacini in studio. Da Ovest verso Est: 1 Nervia; 2 Argentina; 3 Impero; 4 Centa; 5 Varatello; 6 Nimbato; 7 Maremola; 8 Aquila; 9 Fiumara; 10 Segno; 11 Quiliano; 12 Letimbro; 13 Sansobbia; 14 Teiro; 15 Arrestra; 16 Lerone; 17 Cerusa; 18 Leiro; 19 Varenna; 20 Polcevera; 21 Bisagno; 22 Entella. Le linee tratteggiate indicano le direzioni di allungamento dei bacini esaminati; il tratto marcato indica invece lo spartiacque ligure-padano.

a 1 la confluenza sarà «normale» se maggiore di 1 sarà una confluenza «anomala».

Altri dati utilizzati

Oltre le geometrie dei reticoli idrografici, sono state memorizzate le geometrie degli spartiacque di ciascun bacino, nonché le rotture di pendenza significative individuate all'interno dei bacini considerati sintetizzando anch'esse con una geometria puntuale debitamente quotata. In totale, nell'area esaminata, sono state censite oltre 25.000 confluenze e oltre 7.000 rotture di pendenza.

Infine, come precedentemente accennato, si è analizzata la bibliografia desumendo le informazioni relative agli elementi morfologici utili quali ad esempio segnalazione di terrazzi marini e la relativa quota.

ANALISI DEI DATI

Forma dei bacini

Come si evince dall'esame della fig. 1, la forma dei bacini risulta prevalentemente caratterizzata da un discreto livello di allungamento, la cui orientazione risulta essere perpendicolare alla linea di costa; le uniche eccezioni sono rappresentate dai bacini del T. Bisagno e del T. Entella che sono orientati parallelamente ad essa.

I bacini che non presentano una forma di tipo allungato sono quelli dei torrenti Quiliano, Arrestra, Leiro e Ce-

rusa, per i quali i parametri lunghezza e larghezza assumono valori simili.

In termini generali le forme e le orientazioni riscontrate potrebbero essere ascrivibili ad un marcato controllo tettonico.

Inoltre l'esame dell'estensione superficiale dei bacini ha messo in evidenza come quelli di dimensioni superiori ai 100 km² si trovino nella zona del Levante (Entella, Bisagno e Polcevera) e del Ponente (Nervia, Argentina, Impero e Centa), mentre quelli della zona centrale presentano un'inferiore estensione superficiale.

Analisi geomorfica quantitativa

Scopo principale dell'analisi quantitativa qui svolta era la ricerca di parametri di confronto numerico che potessero fornire indizi utili circa le condizioni evolutive dei bacini. L'analisi quantitativa offre in questo senso un'ottima potenzialità di indagine proprio grazie alla possibilità di effettuare un confronto mediante indici che sintetizzano le caratteristiche geomorfiche dei reticoli idrografici.

Per ogni bacino in studio sono state analizzate: le relazioni di Horton (Strahler, 1952), i rapporti di biforcazione, di biforcazione diretta, di lunghezza, dell'indice di biforcazione (Lupia Palmieri & alii, 1995, 2001; Ciccacci & alii, 1981, 1988, 1992) e dell'indice di conservatività (Melton, 1958). Da quest'analisi successivamente sono stati ricavati i parametri rappresentativi per ogni bacino che sono riassunti nella tab. 2.

TABELLA 2 - Tavola riassuntiva dei parametri dell'analisi geomorfica quantitativa calcolati: Rb rapporto di biforcazione; Rbd rapporto di biforcazione diretto; R indice di biforcazione; Ga numero di anomalie gerarchiche; Da indice di anomalie gerarchiche; ga densità di anomalie gerarchiche; Tu trasporto torbido unitario annuo (Ciccacci & alii, 1981)

Bacino	Area (km ²)	Perimetro (km)	n° aste	Ordine gerarchico	Rb medio	Rbd medio	R medio	Ga	Da	ga (km ⁻²)	Densità di drenaggio (km ⁻¹)	Frequenza di drenaggio (km ⁻²)	Tu (t/km ² a)	Rapporto di Melton	Rapporto di tessitura (km ⁻¹)
1	185	76.83	3926	7	3.94	2.79	1.15	8554	2.82	46.17	5.53	21.19	3468	0.693	51.1
2	208	80.84	3878	7	3.94	2.91	1.03	7387	2.51	35.54	5.26	18.66	2634	0.675	48.0
3	96	54.00	777	6	3.70	2.87	0.82	992	1.74	10.37	3.47	8.13	575	0.674	14.4
4	399	125.70	5056	7	4.01	3.14	0.87	6639	1.73	16.65	4.45	12.68	1188	0.642	40.2
5	43	31.29	609	6	3.62	2.77	0.85	535	1.17	12.44	4.14	14.16	830	0.825	19.5
6	13	21.62	175	4	5.47	4.27	1.20	74	0.54	5.55	4.31	13.12	808	0.707	8.1
7	46	34.86	598	5	4.64	3.70	0.93	601	1.34	13.05	4.25	12.98	936	0.719	17.2
8	58	40.62	829	6	3.77	3.03	0.74	788	1.29	13.47	4.38	14.18	1018	0.739	20.4
9	28	29.26	324	5	4.00	2.87	1.13	348	1.44	12.61	3.63	11.74	603	0.889	11.1
10	20	21.42	241	5	3.95	2.99	0.96	147	0.81	7.43	4.36	12.17	900	0.639	11.3
11	51	34.53	816	6	3.87	2.96	0.91	865	1.36	16.81	4.91	15.86	1545	0.658	23.6
12	54	44.05	829	5	5.10	3.89	1.21	801	1.23	14.81	4.76	15.33	1340	0.676	18.8
13	66	47.57	1088	6	3.90	2.79	1.11	1558	1.85	23.63	4.89	16.50	1713	0.689	22.9
14	29	28.50	240	4	6.04	5.31	0.72	119	0.65	4.17	3.53	8.41	462	0.676	8.4
15	21	22.60	245	5	3.75	3.06	0.69	216	1.21	10.41	4.11	11.81	817	0.699	10.8
16	22	25.73	250	5	3.85	3.04	0.81	178	0.97	8.18	3.64	11.48	544	0.866	9.7
17	23	22.17	634	6	3.56	2.68	0.88	841	1.77	36.37	6.23	27.42	3385	0.705	28.6
18	29	25.23	540	6	3.59	2.87	0.72	644	1.58	22.30	5.03	18.70	1787	0.738	21.4
19	22	23.40	656	6	3.64	2.72	0.92	994	1.96	44.37	6.34	29.28	3780	0.727	28.0
20	139	63.35	2919	7	3.68	2.93	0.75	4111	1.84	29.54	5.56	20.97	2823	0.678	46.1
21	96	61.70	974	5	5.54	4.79	0.75	731	0.99	7.60	3.58	10.13	523	0.789	15.8
22	370	126.30	8206	8	3.63	2.85	0.78	14075	2.27	38.0	6.06	22.17	3682	0.603	65.0

In generali i bacini esaminati risultano caratterizzati da un livello di gerarchizzazione mediamente basso.

L'analisi della densità di drenaggio, che permette di evidenziare le caratteristiche di permeabilità ed erodibilità del substrato, ha evidenziato un livello mediamente non elevato, ad esclusione dei bacini del Cerusa (17), del Varenna (19) e dell'Entella (22) che presentano valori superiori a 6 km^{-1} . In questi ultimi il livello di organizzazione del reticolo idrografico risulta piuttosto basso, come evidenziato dagli elevati valori di D_a e g_a (tab. 2).

Un altro dato rilevante proviene dall'esame del trasporto torbido unitario annuo (Lupia Palmieri & *alii*, 1995, 2001 e Ciccacci & *alii*, 1981, 1988, 1992) che può essere assunto come rappresentativo dell'entità dei processi erosivi in atto in un bacino. Anche in questo caso i bacini del Cerusa, del Varenna e dell'Entella presentano i valori più elevati.

Altri bacini che presentano alti valori del trasporto torbido unitario annuo, della densità e dell'indice di anomalia gerarchica sono quelli del Polcevera, del Nervia e dell'Argentina.

Un'ultima osservazione riguarda l'indice di Melton (1958), ritenuto un parametro indicativo del livello di evoluzione raggiunto dal bacino.

I valori più elevati si riscontrano per i seguenti bacini: Varatello, Nimbato, Maremola, Aquila, Fiumara, Lerone, Cerusa, Leiro, Varenna e Bisagno. Uno dei fattori che può determinare valori così elevati dell'indice di Melton (1958) può essere la riattivazione dei processi erosivi determinata da processi di ringiovanimento in atto nei bacini.

Analisi della dimensione frattale dei reticoli idrografici

La geometria frattale trova le proprie origini nelle teorie del caos deterministico e dei sistemi complessi. A partire dai primi lavori di Scheidegger & Langbein (1966) lo studio dei reticoli idrografici, e più in generale lo studio delle forme, si è avvalso delle tecniche di analisi frattale e dei risultati raggiunti nello studio dei sistemi dinamici complessi.

La geometria frattale oltre ad essere una tecnica descrittiva delle forme, rappresenta uno strumento utile nel tentativo di correlare su basi quantitative queste ai processi che le generano (Turcotte, 1992). Come tale, e seguendo l'esempio di ricerche effettuate da diversi autori (La Barbera & Rosso, 1989; Phillips, 1993) si sono indagate le caratteristiche dei reticoli idrografici in oggetto attraverso il calcolo della loro dimensione frattale.

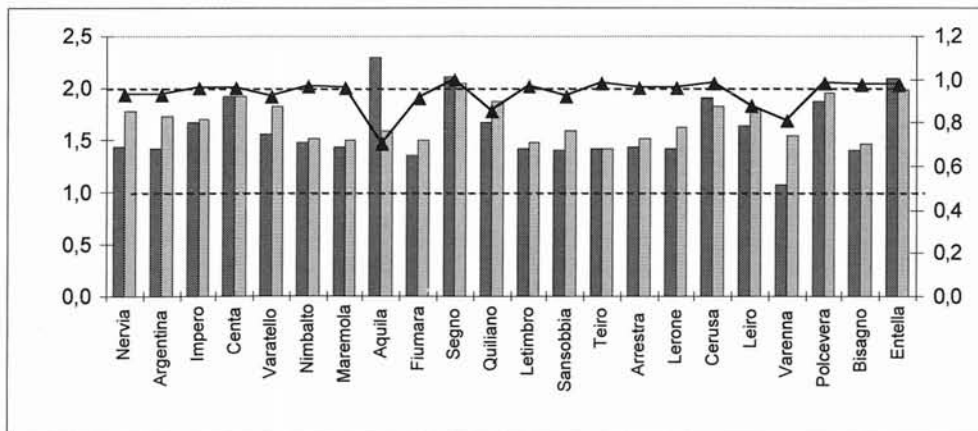
Il calcolo è stato affrontato mediante due tecniche: la prima utilizza i rapporti di Horton (La Barbera & Rosso, 1989 modificato da Phillips, 1993) e verrà indicata con D_m , mentre la seconda utilizza la regressione lineare nella relazione lunghezza delle aste-frequenza e verrà indicata con D_r .

I due metodi hanno fornito risultati concordi sebbene coincidenti solo in alcuni casi (fig. 3). Le discrepanze più rilevanti riguardano i valori relativi ai reticoli dei torrenti Aquila e Varenna: nel primo caso si ottiene per D_m un valore che eccede il limite teorico ($D \in (1,2)$), mentre nel secondo sempre D_m pare sottostimare la dimensione frattale del reticolo; il basso valore assunto dal coefficiente di correlazione lineare ρ in questi due casi, ed imputabile ad un difetto nel valore della lunghezza media delle aste di quinto ordine, porta a ritenere non attendibili i rispettivi valori di D_r così calcolati.

Nel complesso, e ad esclusione dei casi sopra citati, i valori di D_m e D_r si mantengono su valori abbastanza elevati. Secondo le interpretazioni di diversi autori (Tarboton, 1992; Phillips, 1993) valori elevati della dimensione frattale dei reticoli idrografici sono correlati al grado di vincolo determinato dai fattori litologici e tettonici (Del Monte & *alii*, 1999).

In particolare Del Monte & *alii*, (1999) hanno messo in evidenza come un elevato valore della dimensione frattale sia correlabile ad un alto controllo strutturale sull'evoluzione di un bacino e come valori della dimensione frattale che eccedono il valore limite di 2 possano essere determinati da un comportamento di tipo multifrattale; tra i bacini qui esaminati si potrebbe ipotizzare un comportamento di questo tipo per quelli dei torrenti Segno ed Entella. In questo caso non sarebbero quindi tanto le caratteristiche

FIG. 3 - Dimensione frattale: valori D_m , in grigio scuro, e D_r , in grigio chiaro (scala di sinistra in ordinate), calcolati per i bacini indagati (in ascisse); le linee tratteggiate indicano i limiti teorici di variabilità della dimensione frattale per elementi di tipo lineare. La linea spezzata (scala di destra in ordinate) indica i valori assunti dal coefficiente di correlazione lineare nel calcolo di D_r .



strettamente topologiche a determinare il valore della dimensione frattale, quanto piuttosto l'influenza dei vincoli geologico-strutturali sul procedere dei fenomeni erosivi.

Nei bacini in esame si può osservare come la forte eterogeneità dei materiali che costituiscono il substrato dei bacini dei torrenti Centa, Polcevera ed Entella possa fornire una spiegazione degli alti valori ricavati sia per D_m che per D_r .

Negli altri casi, ovvero per i bacini caratterizzati da una minore eterogeneità del substrato, gli elevati valori riscontrati sembrano ascrivibili a vincoli di natura tettonica. Inoltre i valori di D_r evidenziano difetti o eccessi di lunghezza rispetto alla 2^a legge di Horton, riscontrati in alcuni bacini. Tali scostamenti forniscono un'ulteriore conferma all'ipotesi di un forte controllo di natura tettonica sull'evoluzione dei reticoli.

Infine si evidenzia come i reticoli dei torrenti Letimbro, Sansobbia, Teiro, Arrestra e Lerone presentino valori simili della dimensione frattale, quasi a costituire una zona «a sé».

Analisi di frequenza per classi di quota delle confluenze e delle rotture di pendenza

Dal momento in cui si creano le condizioni di scorrimento dell'acqua verso il livello di base, punto di riferi-

mento dei processi erosivi, si può assumere come schema concettuale quello illustrato in fig. 4.

Lungo una superficie più o meno inclinata le acque iniziano ad incanalarsi, il versante originario evolve ed inizia così a configurarsi il livello gerarchico dei bacini. In questo contesto si può assumere come ipotesi di partenza che la prima gerarchizzazione a prodursi sia quella relativa alla confluenza di due aste di primo ordine (Kirkby, 1987; Mayer & alii, 2003) che, durante le fasi di approfondimento del bacino, resteranno a quote più elevate rispetto alle aste di ordine maggiore.

A ciascuna variazione del livello di base, come detto, si possono associare testimonianze morfologiche quali terrazzi marini e fluviali, episodi deposizionali, etc. tra loro correlabili e che consentono di ricostruire la «storia» delle evoluzioni stesse.

Per assenza o rarità di tali episodi e nell'intento della ricostruzione delle varie fasi evolutive si rende necessaria l'integrazione delle testimonianze «classiche» con altri elementi che qui definiremmo «indiretti», quali ad esempio le già citate faccette triangolari o trapezoidali *sensu* Brancucci & Marini (1990 a, b).

Sono stati presi in considerazione quindi i punti di confluenza (25.000 elementi) e le rotture di pendenza (7.000 elementi), di cui si è effettuata l'analisi delle distribuzioni in funzione della quota e per classi di frequenza. Dai dati

FIG. 4 - Progredire dell'erosione incanalata lungo un versante. Le prime confluenze che si generano durante le fasi iniziali di organizzazione del reticolo idrografico sono quelle di due aste di primo ordine (da Kirkby, 1987. Modificato).

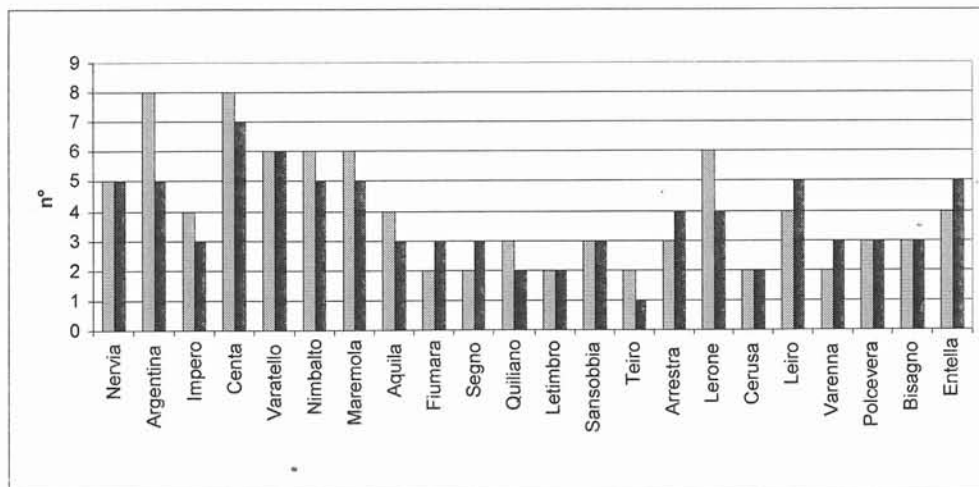
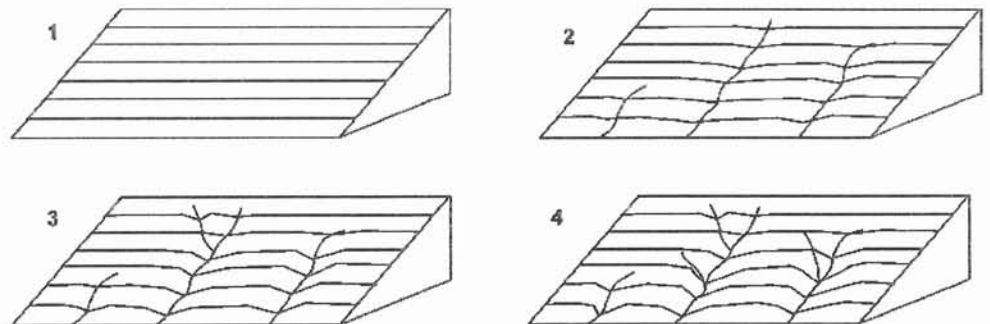


FIG. 5 - Grafico riassuntivo del numero di famiglie (in ordinate) di confluenze 212 (in grigio chiaro) e di rotture di pendenza (in grigio scuro) identificati in ogni bacino.

disponibili si sono prese in considerazione le classi più rappresentative in termini di frequenza relativa.

Dalla fig. 5, nella quale si riportano le famiglie delle confluenze di tipo 212 e delle rotture di pendenza, si evince:

- in termini numerici le confluenze di tipo 212 e le rotture di pendenza risultano confrontabili;
- si notano tuttavia scostamenti significativi nel bacino del T. Argentina ed in quello del T. Lerone.

La fig. 6 inoltre mostra come le confluenze di tipo 212 e le rotture di pendenza seguano un andamento concorde.

In riferimento alla fig. 7 si può osservare:

- la concordanza delle confluenze di tipo 212 e rotture di pendenza con gli altri elementi considerati, le cui caratteristiche sono state desunte dalla bibliografia (Boni &

alii, 1971; Brandolini & *alii*, 1996; Carobene & Firpo, 2002; Cortemiglia, 1983; Fanucci & Nosengo, 1977; Limoncelli & Marini, 1969; Nosengo & Tedeschi, 1977). Tale aspetto può essere messo in correlazione diretta con le fasi evolutive dei vari bacini e rappresentare una comune testimonianza.

- Nei bacini dell'estremo ponente le quote dei valori modali delle confluenze e delle rotture di pendenza si mantengono su valori elevati per decrescere nella zona centrale (savonese) e risalire nuovamente nella zona orientale (genovesato).
- Nei bacini dei torrenti Maremola e Lerone si registrano andamenti bimodali sulla distribuzione delle confluenze di tipo 212 e delle rotture di pendenza.

FIG. 6 - Andamento delle quote (in ordinate, m s.l.m.m.) relative alla 1ª famiglia (quella di quota più elevata) delle confluenze (linea nera) di due aste di ordine uno e delle rotture di pendenza (linea grigia). In ascissa i bacini ed in ordinate la quota in m s.l.m.m.

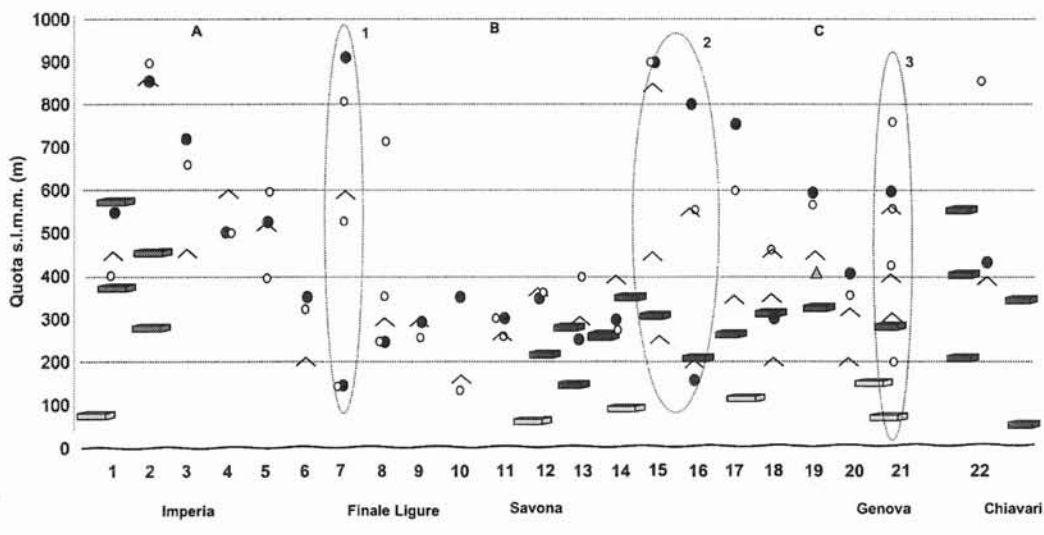
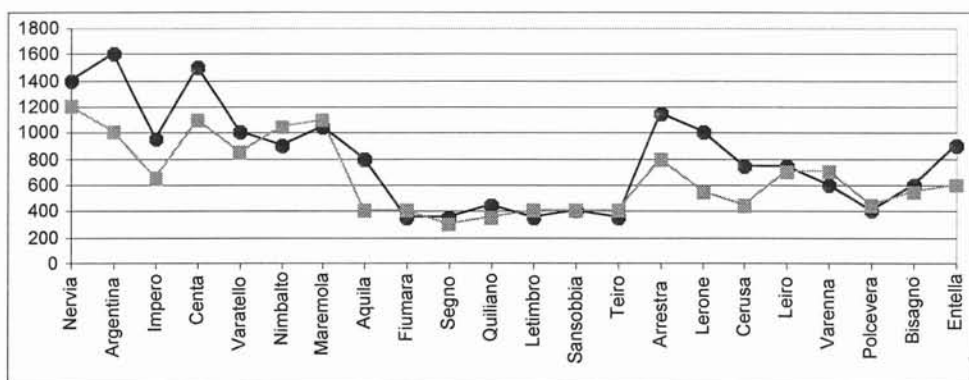


FIG. 7 - Sezione ideale del territorio ligure orientata est-ovest: sul piano verticale sono stati proiettati, in funzione della quota s.l.m., gli elementi morfologici desunti dalla bibliografia quali terrazzi marini e faccette triangolari, (di queste ultime la moda della distribuzione ricavata da Brancucci & Marini, 1990b) ed i valori di moda delle distribuzioni delle confluenze di tipo 212 e 223 e delle rotture di pendenza per ogni bacino. Le aree individuate dalle ellissi (indicate con 1, 2, 3) rappresentano zone critiche, ovvero nelle quali le distribuzioni delle grandezze analizzate presentano caratteri multimodali. Le zone indicate con A, B, C rappresentano invece aree al cui interno paiono individuarsi caratteri abbastanza omogenei.

- I bacini dei torrenti Arrestra e Cerusa presentano una distribuzione multimodale delle rotture di pendenza.
- Anche le confluenze di tipo 223 presentano una distribuzione bimodale nei bacini dei torrenti Maremola e Bisagno.

Da quanto esposto, e sempre in riferimento alla fig. 7, nelle zone in cui si evidenziano distribuzioni bimodali (ovale 1 per i bacini Maremola e 2 per Arrestra e Lerone) queste paiono delimitare zone che comprendono distribuzioni su quote più elevate a contorno di una zona centrale su quote più basse. L'ovale 3, corrispondente al bacino del T. Bisagno, individua una zona che, in virtù delle particolari caratteristiche delle distribuzioni, può far supporre un'evoluzione forse avulsa dal contesto e sulla quale sono in atto ulteriori approfondimenti.

CONCLUSIONI

L'analisi delle distribuzioni delle confluenze torrentizie e delle rotture di pendenza qui proposta come metodologia di analisi aggiuntiva consente di fornire nuovi elementi ai dati ottenibili mediante l'analisi geomorfica quantitativa e l'analisi della struttura frattale dei reticoli, a parte naturalmente il rilevamento sul terreno. Sono emerse zone di particolare interesse sulle quali approfondire il livello di conoscenza.

Si ritiene che la fase successiva ad un'analisi di grande scala come la presente, sia quella di dettaglio, focalizzando l'attenzione su quelle situazioni che le diverse metodologie di indagine hanno evidenziato come anomale o particolari. Tra queste merita certamente un'attenzione particolare il bacino del T. Bisagno che presenta una distribuzione di tipo multimodale per le rotture di pendenza e per le confluenze torrentizie di tipo 223.

Un'altra situazione di notevole interesse è quella dei bacini del Maremola e dell'Arrestra che presentano caratteri bimodali nella distribuzione delle confluenze di tipo 212.

L'analisi del *Tu* ha evidenziato inoltre la forte tendenza erosiva che caratterizza tutti i bacini ed in particolare quelli delle aree ovest ed est; l'alto valore assunto dall'indice di Melton ha inoltre evidenziato come i bacini dell'area centrale presentino forti caratteristiche di ringiovanimento.

L'analisi di frequenza per classi di quota delle confluenze torrentizie e delle rotture di pendenza mostra, in generale, una forte analogia di comportamento. Ciò potrebbe significare che esista una corrispondenza di forme probabilmente dislocate, in tempi successivi, da eventi tettonici tra i vari bacini; tale corrispondenza sembrerebbe ascrivibile a cicli erosivi «coevi».

Tale affermazione pare avvalorata dall'approccio di tipo statistico; questo infatti, oltre a ridurre l'influenza legata a fattori locali quali ad esempio quelli determinati da particolari condizioni litologiche, dovrebbe essere in grado di ridurre anche l'incertezza interpretativa determinata da una correlazione effettuata su basi esclusivamente geometriche, come avviene nel caso dei terrazzi marini in assenza di elementi databili.

- AVENA G.C. & LUPIA PALMIERI E. (1969) - *Analisi geomorfica quantitativa*. Geol. Romana, 8, 319-378.
- BONI A., CERRO A., GIANOTTI R. & VANOSI M. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Fogli 92-93 Albenga-Savona*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- BRANCUCCI G. & MARINI M. (1990a) - *Le faccette triangolari: un elemento utile nell'interpretazione morfogenetica delle valli liguri*. Mem. Soc. Geol. It., 45, 893-898.
- BRANCUCCI G. & MARINI M. (1990b) - *Stadi evolutivi della val Varenna (Riviera di Ponente, Liguria)* Boll. Soc. Geol. It., 109, 351-365.
- BRANDOLINI P., FIRPO M., MARINI M., PICCAZZO M., RAMELLA A. & TERANOVA R. (1996) *Osservazioni preliminari sull'evoluzione quaternaria dell'area del porto vecchio di Genova*. Il Quaternario, 9 (1), 375-380.
- CAROBENE L. & FIRPO M. (2002) - *Forme terrazzate relitte di genesi marina lungo la costa ligure tra Genova e Savona (Liguria Occidentale)*. Il Quaternario, 15 (1), 53-68.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1981) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 99, 455-516.
- CICCACCI S., D'ALESSANRO L., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1988) - *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa allo studio dei processi di denudazione del bacino idrografico del torrente Paglia (Toscana meridionale - Lazio settentrionale)*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1, 171-188.
- CICCACCI S., D'ALESSANRO L., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1992) - *Relation between morphometric characteristic and denudation processes in some drainage basins of Italy*. Zeit. Geomorph., 36 (1), 53-67.
- CORTEMIGLIA G.C. (1983) - *Indizi geomorfologici significativi quale contributo alla stesura di una carta neotettonica della Liguria*. C.N.R. Prog. Final. Geodin., 513 (II), 397-404, Napoli.
- DEL MONTE M., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & SALVINI S. (1999) - *Fractal analysis to define the drainage network geometry*. Boll. Soc. Geol. It., 118, 167-177.
- FANUCCI F. & NOSENGO S. (1977) - *Rapporti tra neotettonica e fenomeni morfogenetici del versante marittimo dell'Appennino Ligure e del margine continentale*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 41-51.
- GIAMMARINO S., CAPPONI G., CRISPINI L., GIGLIA G. & PIAZZA M. (2002) - *Carta geologica della Liguria - scala 1:200.000*. Litografia Artistica Cartografica, Firenze.
- KIKBY M.J. (1987) - *Modelling some influences of soil erosion, landslide and valley gradient on drainage density and hollow development*. In: F. Ahnert (ed.), Catena, supplement 10, 1-14. «Geomorphological models; theoretical and empirical aspects».
- LA BARBERA P. & ROSSO R. (1989) - *On the fractal dimension of river networks*. Water Resources Research, 25, 735-741.
- LIMONCELLI B. & MARINI M. (1969) - *Indagini sulle risorser paesaggistiche e sulle aree verdi della fascia costiera ligure*. Istituto di Architettura e Tecnica Urbanistica, Università di Genova.
- LUPIA PALMIERI E., CICCACCI S., CIVITELLI G., CORDA L., D'ALESSANDRO L., DEL MONTE M., FREDI P. & PUGLIESE F. (1995) - *Geomorfologia quantitativa e morfodinamica del territorio Abruzzese: I - Il bacino idrografico del fiume Sinello*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 18, 31-46.

- LUPIA PALMIERI E., BIASINI A., CAPUTO C., CENTAMORE E., CICCACCI S., DEL MONTE M., FREDI P. & PUGLIESE F. (2001) - *Geomorfologia quantitativa e morfodinamica del territorio Abruzzese: III - Il bacino idrografico del fiume Saline*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 24, 157-176.
- MAYER L., MENICHETTI M., NESCI O. & SAVELLI D. (2003) - *Morphotectonic approach to the drainage analysis in the North Marche region, central Italy*. Quat. International, 101-102 (2003), 157-167.
- MELTON M.A. (1958) - *Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents*. Journ. Geology, 66, n. 4.
- NOSENGO S. & TEDESCHI D. (1977) - *Linee di costa e terrazzi marini dei fogli 83-94 (Rapallo-Chiavari)*. C.N.R. Prog. Final. Geodin. Sottoprog. Neotettonica, 506 pp.
- PHILLIPS J.D. (1993) - *Interpreting the fractal dimension of river networks*. In: Lam N.S, De Cola L. (ed.), «Fractals in Geography», Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- SCHEIDEGGER A.E. & LANGBEIN W.B. (1966) - *Probability concepts in geomorphology*. Geol. Surv. Prof. Paper 500-c, 1-14.
- STRAHLER A.N. (1952) - *Dynamic Basis for Geomorphology*. Bull. Geol. Soc. America, 63, 923-938.
- STRAHLER A.N. (1984) - *Geografia Fisica*, Piccin, Padova.
- TARBOTON D.G., BRAS R.L. & RODRIGUEZ-ITURBE I. (1992) - *A physical basis for drainage density*. Geomorphology, 5, 59-76.
- TURCOTTE D.L. (1992) - *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Cambridge University Press.