

ELVIDIO LUPIA PALMIERI, SIRIO CICCACCI, GIACOMO CIVITELLI, LAURA CORDA,  
LEANDRO D'ALESSANDRO, MAURIZIO DEL MONTE, PAOLA FREDI & FRANCESCO PUGLIESE (\*)

## GEOMORFOLOGIA QUANTITATIVA E MORFODINAMICA DEL TERRITORIO ABRUZZESE: I — IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME SINELLO

ABSTRACT: LUPIA PALMIERI E., CICCACCI S., CIVITELLI G., CORDA L., D'ALESSANDRO L., DEL MONTE M., FREDI P. & PUGLIESE F., *Quantitative geomorphology and morphodynamics of the Abruzzo, Italy: I - The drainage basin of the River Sinello*. (IT ISSN 0391-9838, 1995).

This paper covers a part of an extensive research on the geology and geomorphology of Abruzzo, the aim of which is to underline the role of quantitative geomorphic analysis in the individualization of areas with fast morphological evolution.

In this frame the most significant results obtained for the River Sinello drainage basin are here shown. This basin, in the southernmost part of this region, is emplaced in a lithologically variable and structurally complex area which includes the eastern border of the Apennines and the southern Adriatic foredeep corresponding to the «Molise sedimentary basin». Information drawn during researches allowed to define in a satisfactory way the morpho-structural assessment and the typology as well as the intensity of denudation processes.

The morphological pattern of the basin seems to be controlled by some tectonic directions, among which N-S, E-W, NE-SW, and NW-SE are especially outstanding. The azimuthal distribution of each stream order, defined after Strahler, allowed to outline the possible course of activity relevant to the mentioned tectonic lines. The NW-SE, NE-SW and E-W directions seem to have acted in the most ancient time; the latter, however is likely to have been reactivated, as it clearly controls, together with the N-S trending tectonic line, the very recent evolution of the drainage network.

The basin can be divided into three sectors, each one characterized by sufficiently unitary geological conditions. Over two thirds of the basin surface is affected by intense morphogenetic processes.

These processes are particularly evident and widespread in the mountain sector, also due to strong tectonization. Particularly active is denudation on slopes, mainly consisting of landslides, often of remarkable size. The distribution and intensity of denudation in the mountain sector are in accordance with the drainage network disorganization and rather high values of «erosion index».

Although less marked and widespread, landslides are the main denudation process also in the basin middle sector and information drawn from Quantitative Geomorphology are in accordance again. The lower sector is characterized by low relief amplitude and reduced intensity of slope processes and stream deepening.

The hypsometric analysis made it possible to define accurately the areas which are affected by intense morphogenetic processes. Markedly downward concave curves show that fluvial deepening is the dominant process in the partial basins of the Sinello headwater. Down valley, both in the mountain and in the middle sector, the hypsometric curves evidence that the morphogenetic activity is still marked but in this case fluvial deepening is balanced by gravity processes on slopes. Parallely, badlands become more widespread as it is shown by upward concave hypsometric curves.

KEY WORDS: Quantitative Geomorphology, Morphodynamics, Morphotectonics, Denudation processes, Abruzzo (Italy).

RIASSUNTO: LUPIA PALMIERI E., CICCACCI S., CIVITELLI G., CORDA L., D'ALESSANDRO L., DEL MONTE M., FREDI P. & PUGLIESE F., *Geomorfologia quantitativa e morfodinamica: I - Il bacino idrografico del Fiume Sinello*. (IT ISSN 0391-9838, 1995).

Il presente lavoro si inquadra in una ampia e articolata serie di ricerche geologiche e geomorfologiche sul territorio abruzzese, finalizzata soprattutto a mettere in luce il contributo che l'analisi geomorfologica quantitativa può fornire alla conoscenza e alla caratterizzazione delle aree a rapida evoluzione morfologica.

In questa prima nota vengono esposti i risultati più significativi delle indagini relative al bacino idrografico del Fiume Sinello. Tale bacino, ubicato nel settore più meridionale dell'Abruzzo, è impostato su litotipi molto vari; in una zona strutturalmente complessa che comprende il bordo orientale della catena appenninica e l'antistante settore dell'avanfossa adriatica meridionale corrispondente al bacino di sedimentazione molisano. Le osservazioni eseguite e i dati acquisiti nel corso delle indagini hanno consentito di giungere a una soddisfacente definizione sia dell'assetto morfo-strutturale, sia della tipologia e dell'intensità dei processi di denudazione.

La configurazione morfologica del bacino risulta guidata da alcune direttrici tettoniche, tra le quali le più significative sono quelle orientate nelle direzioni N-S, E-W, intorno NE-SW e intorno NW-SE. L'analisi della distribuzione azimutale delle aste fluviali dei diversi ordini gerarchici ha consentito di delineare una possibile successione dei movimenti connessi alle suddette direttrici tettoniche: l'attività più antica appare legata alle direttrici orientate NW-SE, NE-SW ed E-W; quest'ultima sembra aver avuto una successiva riattivazione tanto da condizionare, insieme alla direzione N-S, l'evoluzione della rete idrografica in tempi recentissimi.

Il bacino, che può essere suddiviso in tre settori, ognuno dei quali è caratterizzato da condizioni geologiche sufficientemente unitarie, è interessato per oltre due terzi della sua superficie da processi morfogenetici molto vivaci.

La presenza di aree di intensa morfogenesi risulta particolarmente evidente nel settore montano. La marcata tettonizzazione che caratterizza questo settore favorisce l'ampia diffusione dei fenomeni di dissesto, rappresentati per lo più da movimenti franosi, a volte di notevoli dimensioni. La distribuzione e l'intensità dei processi di denudazione nel settore montano trovano riscontro sia nello stato di disorganizzazione della rete idrografica, sia nei valori

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma «La Sapienza».

Lavoro eseguito con fondi ENEA (Contratto di ricerca «Analisi geomorfologica quantitativa di alcuni bacini idrografici dell'area abruzzese»), CNR (Contributi per la ricerca: «Geomorfologia quantitativa dei bacini idrografici italiani») e MURST 40% (Progetto di ricerca «Geomorfologia strutturale ed evoluzione del rilievo in Italia e in aree mediterranee»).

dell'«indice di erosione» ricavati per via indiretta mediante l'analisi geomorfica quantitativa.

Anche nel settore mediano del bacino i processi di denudazione prevalenti consistono in fenomeni franosi, che tuttavia presentano minore estensione rispetto al settore montano; e i dati dell'analisi geomorfica quantitativa concordano con le indicazioni desunte dal rilevamento geomorfologico. Nel settore inferiore, caratterizzato da una debole energia del rilievo, i processi sui versanti e l'approfondimento fluviale risultano notevolmente ridotti.

L'analisi ipsometrica ha consentito una più precisa caratterizzazione delle aree di intensa morfogenesi. Curve ipsografiche con evidente concavità verso il basso testimoniano che l'erosione lineare è il processo dominante nei bacini parziali della zona di testata. Oltre questa zona, tanto nel settore montano che in quello mediano, l'attività morfogenetica è ancora decisamente marcata, ma è operata in modo bilanciato sia dai corsi d'acqua che dai processi sui versanti, consistenti soprattutto in movimenti gravitativi; parallelamente, però, si osserva anche un aumento della diffusione dell'erosione calanchiva, messa in evidenza da curve ipsografiche con concavità verso l'alto assai pronunciata.

TERMINI CHIAVE: Geomorfologia quantitativa, Morfodinamica, Morfotettonica, Processi di denudazione, Abruzzo.

## PREMESSA

Con questa nota si avvia la pubblicazione dei risultati più significativi di un'ampia e articolata serie di ricerche geomorfologiche sul territorio abruzzese, che è stata resa possibile soprattutto da un iniziale cospicuo finanziamento dell'Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente.

Nel corso delle ricerche, le cui prime fasi sono state finalizzate principalmente alla individuazione e alla caratterizzazione delle aree di intensa morfogenesi attualmente esistenti in alcuni bacini idrografici dell'Abruzzo, sono state eseguite sia indagini morfografiche che analisi morfometriche; l'integrazione delle informazioni e dei dati ottenuti con i due tipi di indagine ha fornito interessanti contributi non solo alla conoscenza della tipologia e della rapidità dei processi di denudazione in atto nei bacini di drenaggio, ma anche alla definizione dell'assetto morfologico-strutturale del territorio indagato.

Preliminarmente si è ritenuto necessario procedere a un approfondimento degli studi geologici di base, tenendo conto delle finalità delle ricerche geomorfologiche programmate. E a tale scopo sono stati effettuati rilevamenti, anche di dettaglio, incentrati soprattutto sugli aspetti litologici e tettonici dei bacini in esame.

I rilevamenti geomorfologici, condotti con l'ausilio di fotografie aeree e direttamente sul terreno, sono stati orientati verso due tematiche, entrambe di grande interesse morfodinamico nel territorio abruzzese. Il primo tema è stato identificato, ovviamente, nei processi di denudazione che caratterizzano le diverse parti del territorio in studio, con speciale riguardo per i fenomeni di dissesto: una accurata indagine, eseguita assai spesso sul campo, ha permesso di evidenziare il tipo e la distribuzione di tali processi e delle forme da essi derivanti. Un secondo tema è stato individuato nell'attività neotettonica, e in questo ambito l'obiettivo della ricerca è consistito nella individuazione degli elementi tettonici lineari presenti nella regione in esame. A tal fine è stato eseguito un attento esame di tutti gli elementi morfologici che possono essere considerati come espressione superficiale di controlli tettonici; gli alli-

neamenti più significativi di questi «indizi morfologici» sono stati interpretati come lineazioni tettoniche.

Le indagini morfometriche, strumento principale di questa serie di ricerche, sono state condotte secondo metodologie che, ampiamente sperimentate anche in altre regioni dell'Italia centro-meridionale, hanno fornito risultati apprezzabili nella trattazione di diversi temi. In particolare l'analisi quantitativa ha apportato un sostanziale contributo allo studio delle complesse relazioni esistenti tra parametri geomorfici, condizioni climatiche e caratteristiche geologiche; tale studio è stato finalizzato soprattutto alla valutazione indiretta dell'entità del trasporto solido e dell'erosione nei bacini fluviali. Risultati altrettanto soddisfacenti sono stati ottenuti, con la geomorfologia quantitativa, nello studio della morfotettonica, nell'ambito del quale è apparsa di grande interesse l'analisi degli orientamenti dei vari tratti del reticolo idrografico; tale analisi, infatti, può fornire utili informazioni in merito agli effetti della tettonica, in particolare di quella recente, sulla configurazione del reticolo idrografico e può consentire l'identificazione di sistemi di fratture e di faglie a modesto rigetto che, in quanto tali, non vengono identificate e cartografate nei rilevamenti geologici.

In questa prima nota vengono esposti i risultati, ottenuti con gli studi sopra delineati, relativi al bacino idrografico del Fiume Sinello.

## INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il bacino idrografico del Fiume Sinello ha un'estensione di circa 312 km<sup>2</sup>, con una forma di insieme allungata in direzione SW-NE. Il suo collettore principale ha origine in prossimità del rilievo di Castel Fraiano (1415 m s.l.m.) e dopo un percorso di circa 50 km sfocia nel Mare Adriatico, poco a Sud di Stazione di Casalbordino. I principali affluenti di sinistra sono il Torrente Allosa (con un bacino di 10,72 km<sup>2</sup>), il Vallone di Monteacuto (con un bacino di 18,21 km<sup>2</sup>) e il Torrente Archiano (con un bacino di 16,36 km<sup>2</sup>); tra gli affluenti di destra sono da segnalare il Torrente Cena (con un bacino di 26,54 km<sup>2</sup>), il Vallone Ferrato (con un bacino di 17,39 km<sup>2</sup>) e il Vallone Maltempo (con un bacino di 16,83 km<sup>2</sup>).

Lo spartiacque del bacino presenta la massima elevazione in corrispondenza della già citata cima di Castel Fraiano; a partire da questo rilievo le quote, tanto sullo spartiacque destro che su quello sinistro, degradano regolarmente verso mare. Schematicamente, nel bacino del Fiume Sinello si possono individuare i seguenti aspetti orografici e morfologici fondamentali: procedendo da valle verso monte, dopo una zona a debole energia di rilievo, contrassegnata dalla presenza di terrazzi, si passa in pochi chilometri a una zona collinare ondulata e caratterizzata da diffusi processi gravitativi di versante; segue quindi, fino alla testata del bacino, una zona montuosa più acclive, interessata da vistosi fenomeni franosi.

## CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Le caratteristiche litologiche e i principali elementi tettonici del bacino idrografico del Fiume Sinello sono state rappresentate cartograficamente alla scala 1:100.000. La «Carta geolitologica» (f.t.) è in gran parte frutto di rilevamenti ine-

diti alla scala 1:25.000; soltanto per alcune zone e, in genere, limitatamente ai terreni plio-pleistocenici, ci si è basati sulla cartografia ufficiale esistente (Serv. Geol. It., 1967), opportunamente controllata con osservazioni puntuali sugli affioramenti più significativi.

### Litologia

Il criterio che ha guidato la definizione cartografica delle varie unità litostratigrafiche affioranti è stato improntato alla finalizzazione geomorfologico-applicativa della ricerca; i terreni sono stati rappresentati secondo una successione nella quale sono stati operati accorpamenti di litofacies simili, anche se eterocrone, e divisioni tra facies coeve aventi però differenze litologiche significative in relazione ai processi morfogenetici. Secondo tale criterio non sono state operate distinzioni tra le varie facies alluvionali pleistoceniche e attuali. Analogamente sono state riunite in una sola unità le facies detritiche di falda e frana e i depositi sabbioso-limosi di copertura, dal Pleistocene all'attuale; e ciò tenendo conto anche del fatto che i movimenti franosi sono stati adeguatamente rappresentati nella «Carta dei dissesti» (f.t.).

Il bacino idrografico del Fiume Sinello è impostato su litotipi estremamente vari, in un'area strutturalmente molto complessa e riferibile al settore settentrionale del bacino molisano (CASNEDI & *alii*, 1982; CLERMONTÈ, 1977; D'ARGENIO, 1988). Esso può essere schematicamente suddiviso in tre settori, grosso modo equivalenti per superficie, sulla base dei litotipi affioranti.

Il settore più montano, nel quale si sviluppa il corso superiore del Fiume Sinello, è caratterizzato dall'affioramento di terreni miocenici riferibili alla Formazione Tufillo (Langhiano-Tortoniano) e al Flysch di Agnone (Messiniano).

Il settore centrale del bacino presenta una maggiore variabilità di litotipi; affiorano ampie plaghe di Argille varicolori dalle quali emergono, in modo discontinuo, le ultime propaggini nord-orientali delle facies carbonatiche riferibili alla Formazione Tufillo e i depositi messiniani evaporitici. Tutti questi litotipi verso Nord sono progressivamente coperti dai depositi trasgressivi del Pliocene medio-superiore.

Nel settore inferiore il bacino è impostato sulla porzione pleistocenica delle Argille azzurre. Queste nella parte alta presentano episodi sabbiosi e, più raramente, lenti conglomeratiche. Alternanze argilloso-sabbiose fanno quindi da passaggio ai depositi di tetto, rappresentati essenzialmente da sabbie che verso l'alto passano a puddinghe poligeniche con lenti di sabbie e di argille.

La successione litostratigrafica completa, osservabile nel bacino idrografico del Fiume Sinello, dal basso verso l'alto è la seguente: Argille varicolori, calcari marnosi e marne della Formazione Tufillo, peliti e arenarie della Formazione di Agnone, gessi, calcari evaporitici e argille con gesso del ciclo evaporitico messiniano, depositi argillosi del ciclo Pliocene medio-Calabrian, depositi essenzialmente sabbiosi dello stesso ciclo, conglomerati e ciottolami pleistocenici, depositi continentali quaternari. È opportuno ricordare che tale successione non è continua, dal momento che i suoi termini sono riferibili a diverse unità paleo-geo-

grafico-strutturali attualmente sovrapposte o giustapposte in conseguenza di fenomeni tettonici di carattere regionale (PATACCA & *alii*, 1991).

Argille varicolori, Formazione Tufillo e Formazione di Agnone costituiscono i *litotipi della coltre alloctona molisana* e sono riferibili alla porzione superiore della successione del bacino lagonegrese-molisano» (MOSTARDINI & MERLINI, 1986). La coltre poggia sui depositi del Pliocene inferiore e, più a Est, del Pliocene medio; essa è coperta dai depositi del Pliocene medio-superiore nei settori più orientali, come si ricava dai numerosi pozzi terebrati nella zona (CIVITELLI & SERVA, 1980).

Gessi, calcari evaporitici e argille con gessi sono riferibili al *ciclo evaporitico messiniano*, che in sondaggio si ritrova al tetto della successione meso-cenozoica attribuita alla Piattaforma apula. La loro posizione in affioramento sarebbe pertanto secondaria, conseguenza di una enucleazione dal substrato, determinata dall'arrivo della coltre.

Infine, i *depositi del ciclo trasgressivo marino plio-pleistocenico* rappresentano le normali facies di riempimento dell'avanfossa adriatica.

Riguardo ai termini della coltre alloctona, l'assetto di superficie, sebbene spesso caratterizzato da evidente caoticità, consente la ricostruzione di serie stratigrafiche, anche se parziali. Pure i rapporti che intercorrono tra le varie unità litostratigrafiche sono in qualche caso riconoscibili e l'originaria successione stratigrafica è nel complesso conservata.

Le Argille varicolori costituiscono l'unità stratigraficamente più bassa che affiora in due ampie plaghe: la prima alla sinistra del Fiume Sinello, a Ovest di Guilmi, e la seconda più a valle e lungo la destra idrografica del fiume, a Nord di Furci. Affioramenti di minore estensione si ritrovano tra Guilmi e Carpineto Sinello. Dal punto di vista litologico sono costituite da argilliti marnose, violacee, grigie e verdastre; contengono intercalati strati di marne calcaree con patine manganesifere e calcari selciferi brunastri. Frequentemente si ritrovano pezzami e strati scompaginati di calcari tipo «Pietra paesina», calcareniti torbiditiche laminare, calciruditi e brecciole a macroforaminiferi. Le condizioni di affioramento sono generalmente poco favorevoli: coperture eluviali e colluviali non sempre consentono l'osservazione della litofacies e i diffusi fenomeni di scivolamento superficiale mascherano i rapporti con le altre formazioni.

La successione calcarea e calcareo-marnosa riferibile alla Formazione Tufillo (di età langhiano-tortoniana) affiora essenzialmente nella zona di testata del bacino, ove costituisce i principali rilievi dell'area, e nella parte centrale, ove viene a contatto con le argille del ciclo pliocenico. La porzione inferiore della successione è essenzialmente calcarea e calcareo-marnosa, mentre quella superiore progressivamente diviene marnoso-argillosa. Sono frequenti pacchi di marne grigie omogenee e compatte e strati di marne argillose, più rare le intercalazioni di calcari marnosi. Tale evoluzione di facies è molto ben esposta attraverso la struttura che da Roccapinalveti si allunga in senso meridiano verso Sud, al bordo meridionale del bacino idrografico del Sinello. Verso l'alto la successione passa regolarmente, e con buone esposizioni, a facies pelitiche e pelitico-arenacee

torbiditiche. I rapporti con le unità sottostanti non sono ben esposti; interessante tuttavia è il ritrovamento, alla base della successione che affiora nell'area di Colle dell'Albero, di pochi metri di quarzoareniti molto mature che presentano tutte le caratteristiche di facies del Flysch Numidico. Da tenere presente che in settori più meridionali la porzione cenozoica del bacino lagonegrese-molisano è costituita dalle Argille varicolori che passano, in continuità di sedimentazione, al Flysch Numidico e poi a un flysch calcareo-marnoso (Formazione della Daunia).

I piccoli e isolati affioramenti di calcari a Briozoi e Litotamni e brecce calcaree che affiorano nell'area di Furci e poco più a Nord, sono stati cartografati come unità litostratigrafica indipendente. La loro età è riferibile al Langhiano-Serravalliano, ma la posizione stratigrafica in affioramento è poco chiara. Sono sicuramente in posizione secondaria le placche a contatto con le Argille varicolori, nelle quali sembrano inglobate; più incerta la situazione nei casi in cui sono a contatto con i calcari marnosi della Formazione Tuffillo.

La successione terrigena messiniana riferibile al Flysch di Agnone segue in continuità di sedimentazione la successione calcareo-marnosa del Tuffillo; la regolare sovrapposizione stratigrafica si osserva ogni qualvolta il contatto tra le due formazioni è ben esposto, libero da coperture detritiche e non dovuto a cause tettoniche. Tale formazione occupa buona parte della porzione superiore del bacino idrografico del Sinello e presenta, in questa area, caratteri di facies ben definiti. All'interno della formazione è riconoscibile una porzione inferiore, costituita da alternanze arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee, e una superiore che progressivamente diviene più argillosa con prevalenza di facies pelitiche.

Questa evoluzione verticale sembra essere accompagnata da una analogia evoluzione laterale: le facies a maggiore componente arenacea sono diffuse alla base della successione nel settore più meridionale, a ridosso delle strutture che costituiscono la testata del bacino; spostandosi verso Nord-Est, sin dalla base della successione si ha una prevalenza di facies a composizione essenzialmente pelitica e con subordinati strati sottili di arenarie fini.

Per analogia (anche se non identità) di costituzione litologica e posizione stratigrafica, nella «carta geolitologica» f.t. sono stati cartografati con lo stesso colore del Flysch di Agnone alcuni affioramenti di areniti fini a forte componente bioclastica, che si rinvengono nell'area di Furci e di Carpineto Sinello, nella parte centrale del bacino. Si presentano in strati spessi e in banchi potenti 1-2 metri e con strutture sedimentarie, intercalati con livelli di argille sabbiose. Sono in genere scarsamente cementati e contengono resti di bivalvi; in base alle caratteristiche di facies si possono considerare depositi neritici. L'appoggio sulla formazione sottostante è discordante; l'età è messiniana, con possibilità che la parte sommitale tocchi il Pliocene.

Tutte le unità sin qui descritte fanno parte della coltre alloctona, che in superficie si estende dalla testata del bacino del Sinello sino alla sua parte centrale. In quest'ultimo settore, nei dintorni di Gissi, affiorano estese plaghe di evaporiti messiniane per le quali, come già accennato, non è del tutto chiarita la posizione strutturale in rapporto alla

coltre alloctona. Cartograficamente sono state distinte, solo su basi litologiche, due unità: la prima è costituita da termini litoidi e la seconda ha composizione essenzialmente argillosa.

La prima unità, rappresentata da gessi, calcari brecciati e calcari travertinosi affiora secondo strutture allungate in senso appenninico, che si staccano morfologicamente dai terreni circostanti. La facies più tipica è costituita da gesso macrocristallino che si presenta, nell'affioramento più esteso, in potenti bancate e il cui spessore complessivo può superare i 100 metri. La giacitura è subverticale lungo il fianco occidentale che è interrotto da una faglia ad andamento appenninico e debolmente immergente verso Est su quello orientale. In associazione ai gessi sono presenti calcari travertinosi, calcari gessosi pulverulenti, calcari brecciati ai quali si intercalano episodi diatomiferi.

Tale unità passa lateralmente e verso l'alto alla seconda litofacies; questa è rappresentata da argille sottilmente stratificate e a diverso contenuto sabbioso ed è caratterizzata dalla presenza di cristalli isolati di gesso e impregnazioni bituminose. In affioramento i rapporti geometrici tra le due unità sono sempre poco chiari, dato l'elevato grado di tettonizzazione e la diversa competenza dei materiali coinvolti.

I depositi del ciclo trasgressivo plio-pleistocenico sono stati distinti in tre unità litostratigrafiche: la prima è costituita da litofacies essenzialmente pelitiche, la seconda è costituita da una associazione a prevalente composizione sabbiosa, la terza è ghiaioso-conglomeratica.

La litofacies argillosa occupa gran parte dell'area centrale del bacino del Sinello, particolarmente estesa e continua alla sinistra idrografica del fiume. Si tratta di argille e argille marnose compatte a fratturazione concoide, di colore grigio-azzurrognolo; la componente siltoso-sabbiosa è quasi assente nella porzione inferiore della successione, mentre verso l'alto tende a essere abbondante. Lo spessore complessivo non è valutabile in affioramento; la sola porzione calabriana supera i 200 m di potenza.

L'unità a prevalente composizione sabbiosa è meno estesa della precedente. Nella parte centrale del bacino idrografico si hanno solo piccoli affioramenti discontinui a tetto delle argille plioceniche; nella zona inferiore invece l'unità è piuttosto estesa: sulle argille calabriane poggiano alternanze sabbioso-argillose che verso l'alto passano a facies francamente sabbiose. Queste ultime sono costituite da strati di sabbia gialla ben classata e, nella parte alta della successione, presentano sporadiche intercalazioni di livelli conglomeratici che preludono l'instaurarsi della sedimentazione clastica grossolana sovrastante. Lo spessore è variabile ma complessivamente non supera i 200 metri.

Superiormente si passa a una unità conglomeratica interamente pleistocenica; essa è ben rappresentata in affioramento essenzialmente sul versante sinistro del bacino, nella zona costiera. I conglomerati, poligenici, eterometrici e con clasti arrotondati, sono ben cementati nella parte bassa della successione che rappresenta la chiusura del ciclo marino plio-pleistocenico. La porzione superiore assume progressivamente caratteri di facies tipiche di un ambiente continentale; il grado di cementazione diminuisce e la parte sommitale della successione può essere costituita

da ciottolame sciolto o solo parzialmente cementato da crostoni evaporitici e concrezioni calcaree. Lo spessore è variabile tra 0 e 30 metri.

I depositi continentali, che si sviluppano dal Pleistocene all'attuale, sono stati suddivisi in due unità. Nella prima unità sono comprese tutte le facies detritiche grossolane (essenzialmente detriti di falda e accumuli di frana), nonché quei depositi sabbioso-limosi, di colmamento di piccoli bacini limno-palustri, che costituiscono coperture di spessore ridotto (alcuni metri), ma sono arealmente piuttosto estese nella porzione inferiore del bacino idrografico in esame. Nella seconda unità sono state incluse tutte le alluvioni fluviali, sia attuali che terrazzate, i terreni di bonifica e le sabbie e ghiaie di elaborazione costiera.

### *Tettonica*

Le più vistose manifestazioni tettoniche di superficie si registrano nella parte alta del bacino del Sinello e interessano in particolare la Formazione Tuffillo e i rapporti tra questa e le unità adiacenti. Gli strati hanno una giacitura generalmente immergente a Est, con pendenze variabili fino a subverticali lungo i bordi delle strutture. Faglie subverticali, organizzate in sistemi variamente orientati, sono frequenti al contatto tra la Formazione Tuffillo e la Formazione di Agnone. Inoltre, lungo il bordo sudoccidentale del bacino idrografico, i calcari marnosi di Tuffillo si accavallano, con vergenza occidentale, sui depositi arenaceo-pelitici del Flysch di Agnone a causa di un limitato retroscorrimento che potrebbe aver interessato la coltre nella sua generale traslazione verso Est. Un altro contatto, diretto NW-SE, che porta la Formazione Tuffillo ad accavallarsi, questa volta con vergenza nordorientale, sulle argille plioceniche, si osserva all'altezza di Carpineto Sinello.

I depositi clastici torbiditici della Formazione di Agnone sono caratterizzati da una tettonica di tipo plicativo, con pieghe molto accentuate che si attenuano progressivamente verso Est; gli strati, a ridosso delle strutture carbonatiche, si presentano raddrizzati e a volte rovesciati.

Nella porzione mediana del bacino le Argille varicolori sono diffusamente interessate da scivolamenti superficiali che rendono ancor più esasperato il grado di caoticizzazione dell'unità. In questo settore i fenomeni tettonici più evidenti riguardano però gli affioramenti dei depositi messiniani evaporitici: le potenti bancate di gesso dell'area di Gissi sono fortemente dislocate, presentano giaciture variabili fino a subverticali e sono spesso limitate da faglie subverticali orientate in prevalenza NW-SE. I depositi del ciclo trasgressivo plio-pleistocenico e quelli quaternari presentano una generale immersione verso Est e Nord-Est con pendenze che dai 10°-15° dei settori più meridionali tendono ad attenuarsi verso Nord. Il motivo tettonico principale è dato da una faglia diretta, ad andamento N-S, lungo la quale è impostato il corso inferiore del Sinello. Infine limitate dislocazioni, orientate circa E-W, interessano depositi sabbiosi pliocenici calabrianici.

## FORME E PROCESSI DI DENUDAZIONE

Lo studio delle forme e dei processi di denudazione presenti nel bacino del Fiume Sinello è stato condotto attraverso un organico rilevamento geomorfologico, preceduto e affiancato da adeguati rilievi geologici di base (i cui risultati sono stati sintetizzati nel capitolo precedente).

Acquisiti tutti i dati bibliografici di interesse, lo studio morfodinamico è stato eseguito sia mediante rilievi di campagna che attraverso l'aerofotointerpretazione. A tale scopo sono state utilizzate le coperture aeree realizzate in scala 1:33.000 dalla Regione Abruzzo, nonché coperture a scala più grande; queste ultime hanno consentito, tra l'altro, il necessario approfondimento richiesto dallo specifico dinamismo geomorfico locale. Comunque, i rilevamenti diretti hanno avuto ampio sviluppo, come è nella tradizione della più corretta metodica geomorfologica.

I criteri adottati per definire ed evidenziare le varie forme di modellamento derivano da quelli proposti dal «Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia» del C.N.R., che la scuola romana ha già sperimentato nello studio di diversi bacini idrografici dell'Appennino centro-meridionale. Anche nel presente lavoro, quindi, sono stati presi in esame, accanto ai processi morfogenetici la cui attività è realmente continua, anche i fenomeni che si manifestano in modo periodico; sono stati considerati, inoltre, i processi che si realizzano solo occasionalmente in concomitanza di condizioni particolari o a seguito di eventi critici. Le varie forme e i processi individuati sono stati raggruppati in categorie, sulla base della prevalenza dell'agente ritenuto come principale responsabile del fenomeno: gravità, acque dilavanti, acque incanalate.

Definite le diverse tipologie di dissesto, sono state individuate le aree soggette a tali profonde modificazioni geomorfiche. Di esse è stata redatta una rappresentazione di sintesi in scala 1:100.000 («Carta dei dissesti» f.t.), la quale è basata su elaborazioni cartografiche eseguite a scala di dettaglio molto maggiore (1:25.000 e, per talune aree, 1:10.000). I risultati ottenuti dalle indagini condotte secondo le suddette metodologie sono stati poi sottoposti a un attento esame analitico. Da tale esame sono stati, quindi, enucleati gli elementi e i fattori più caratterizzanti, allo scopo di inserirli successivamente in un quadro finale, organico e completo, di significative correlazioni.

Qui di seguito si rende conto delle risultanze acquisite, attraverso il rilevamento geomorfologico, relativamente alla distribuzione dei dissesti nel bacino in esame.

Il bacino idrografico del Fiume Sinello è caratterizzato da processi di denudazione particolarmente accentuati. Tali processi sono presenti e attivi in larga parte del bacino e sono dovuti prevalentemente all'azione della gravità; marcata, comunque, è anche l'azione delle acque correnti superficiali, sia dilavanti che incanalate. Le conseguenti modificazioni geomorfiche risultano, pertanto, così profonde e intense da far ritenere che il «dissesto» costituisca il principale processo morfoevolutivo del bacino stesso o, per lo meno, di gran parte di esso (D'ALESSANDRO & PANTALEONE, 1991).

In funzione della tipologia e della intensità dei processi di denudazione, il bacino in esame può essere suddiviso in

tre settori, ciascuno dei quali è caratterizzato anche da condizioni geologiche sufficientemente unitarie: il settore montano, quello mediano e quello inferiore.

Il settore *montano* comprende, oltre alla zona di testata del T. Sinello, tutta l'area estesa fino alla dorsale di Carpineto Sinello.

Nella zona di testata i processi di denudazione consistono essenzialmente nella marcata erosione lineare operata dalle acque incanalate, cui si associano fenomeni gravitativi per lo più di piccola estensione (dell'ordine dell'ettaro) e di non elevata diffusione. Questi ultimi consistono in crolli di massi e detriti della Formazione calcareo-marnosa di Tufillo, che sono più frequenti laddove più elevato è il grado di tettonizzazione e più profonda è l'incisione fluviale (per esempio Ritagli del Sinello). Gli affioramenti della Formazione di Agnone sono interessati, invece, da piccole e non numerose frane di scorrimento e da movimenti lenti (*creep*); la relativa stabilità di tali litotipi è da mettere in rapporto con la locale prevalenza della componente arenacea rispetto a quella pelitica.

Fenomeni di erosione areale diffusa si rilevano lungo le pendici di Colle dell'Albero, in zone caratterizzate da un fitto reticolo di discontinuità (giunti di strato, diaclasi e faglie).

A valle dell'esigua zona di testata, il settore montano del bacino del Fiume Sinello appare letteralmente invaso da fenomeni di dissesto. Esso si dispiega in una fitta successione di valli e vallecole confluenti, drenate da un denso reticolo idrografico che costituisce uno dei principali agenti morfogenetici dell'area. Ma è proprio questa opera di incisione fluviale una delle più importanti concause dei movimenti franosi, i quali, comunque, costituiscono il tipo di dissesto più diffuso e prevalente nell'intero settore. D'altra parte le zone soggette a tali movimenti divengono a loro volta sede di intensa erosione areale, la quale, quindi, va ad affiancarsi a quella presente sui versanti stabili.

Anche se non mancano frane di piccole dimensioni, movimenti in massa tipici di questo settore sono caratterizzati da notevoli estensioni delle aree coinvolte, di norma pari a diverse decine di ettari, fino a massimi di centinaia di ettari. Circa la tipologia dei movimenti si rileva che essa appare fortemente influenzata dalle caratteristiche litostutturali. Comunque, è certo che le categorie più frequenti sono costituite dagli scorrimenti e dai colamenti: i primi tendono a prevalere negli affioramenti della Formazione di Agnone, mentre i secondi appaiono più tipici, pur se non esclusivi, dei versanti costituiti dalle Argille varicolori. Occorre, altresì, tener presente che frequenti sono i casi di combinazione delle due tipologie, per cui nell'ambito dello stesso movimento si passa dallo scorrimento roto-traslazionale della zona superiore al colamento lungo il canale di frana.

Fra i movimenti franosi di maggiori dimensioni è da segnalare quello di M. Fischietto, presso la zona di testata, e quelli di Policorvo e Colle Pistilli presso la dorsale di Carpineto Sinello.

La frana di M. Fischietto ha una lunghezza di circa 3 km e una larghezza di oltre 1 km; essa è ubicata al contatto tra la Formazione Tufillo e la Formazione di Agnone, disposte a franapoggio e interessate da sistemi di faglie orto-

gonali. A rendere maggior conto della eccezionalità delle dimensioni di questa frana occorre aggiungere che essa è sita su un versante caratterizzato da elevata acclività, connessa con l'azione di approfondimento del T. Sinello, il quale svolge anche una intensa opera di scalzamento al piede.

Le frane di Policorvo e di Colle Pistilli costituiscono due enormi movimenti, in prevalenza colamenti, disposti tra loro frontalmente sui due versanti opposti e confluenti al fondovalle del Fiume Sinello. Tali movimenti interessano le Argille varicolori che, alla loro consueta attitudine al dissesto, di per sé già molto spinta, aggiungono in questa zona un più elevato grado di tettonizzazione e condizioni idrogeologiche sfavorevoli a causa del contatto con la Formazione Tufillo. Anche in questi casi un ruolo importante è svolto dalla cospicua azione erosiva del Fiume Sinello, che continua tuttora a esplicarsi nonostante la confluenza delle due enormi colate detritiche.

Il settore *mediano* del bacino del Fiume Sinello si estende dalla dorsale di Carpineto Sinello fino all'allineamento Monteodorisio-Scerni. Esso, quindi, comprende tutto il tratto che si sviluppa in direzione SW-NE, fino alla zona in cui l'asse vallivo devia nella direzione N-S. Vi predominano largamente le argille plio-calabrianne; sul versante destro si rinvencono anche estesi affioramenti di Argille varicolori e di evaporiti messiniane. Pure in questo settore i dissesti prevalentemente continuano a essere i movimenti franosi. Le frane presentano una densità elevata, ma, comunque, inferiore rispetto a quella del settore montano; inoltre hanno di regola più piccole dimensioni, dell'ordine di qualche ettaro.

Si discostano notevolmente da tali caratteristiche tipiche i sottobacini in cui affiorano le Argille varicolori (per esempio, quello del Torrente Cena) e quelli più vicini al settore montano e presso la zona delle evaporiti. Man mano che si procede verso la costa la densità dei movimenti franosi presenti nel settore mediano si riduce e la forma di dissesto più diffusa tende a essere quella calanchiva.

Nel settore *inferiore* del bacino del Fiume Sinello, infine, si riscontra una pressoché totale assenza di dissesti, eccezion fatta per qualche singola situazione locale. I processi morfogenetici prevalenti sono quelli connessi all'azione fluviale che, comunque, è condizionata dalle deboli pendenze esistenti.

## ANALISI DEL DRENAGGIO SUPERFICIALE

Considerate le finalità del presente lavoro e la utilità di una precisa caratterizzazione morfologica delle varie porzioni del territorio in studio, si è ritenuto opportuno eseguire, fra l'altro, una approfondita analisi del drenaggio superficiale nel bacino del Fiume Sinello. Allo sviluppo e alla geometria del reticolo idrografico sono, infatti, strettamente correlati processi di erosione, trasporto e sedimentazione dovuti alla dinamica fluviale.

Per eseguire questo tipo di analisi è stata realizzata, innanzitutto, la «Carta del reticolo idrografico» (f.t.), sulla quale sono state riportate tutte le possibili vie di drenaggio

TABELLA 1 - Parametri morfometrici relativi ai bacini parziali e all'intero bacino idrografico del Fiume Sinello

TABLE 1 - Morphometric parameters relevant to partial basins and the whole Fiume Sinello drainage basin

Bacino	Area km <sup>2</sup>	D km/km <sup>2</sup>	Rb	Rbd	R	Ga	ga	Δa
1	16,83	4,46	5,3	3,6	1,7	137	8,14	0,96
2	0,38	5,15	2,0	2,0	0,0	0	0,00	0,00
3	0,58	3,08	2,0	2,0	0,0	0	0,00	0,00
4	26,54	5,67	4,3	3,5	0,8	425	16,01	1,22
5	0,81	6,12	5,7	5,5	0,2	1	1,24	0,05
6	3,96	6,36	4,0	3,0	1,0	54	13,65	0,86
7	3,51	5,47	4,2	3,1	1,1	68	19,38	1,01
8	1,31	7,76	3,4	2,7	0,7	23	17,51	0,68
9	10,20	5,30	3,6	3,0	0,6	132	12,95	1,02
9a	0,19	5,78	3,0	3,0	0,0	0	0,00	0,00
10	17,39	7,47	4,7	4,0	0,7	268	15,41	0,86
11	0,47	7,87	4,4	4,4	0,0	0	0,00	0,00
12	2,19	5,86	3,8	2,8	1,0	28	12,77	0,62
13	0,49	4,46	2,5	2,2	0,3	1	2,03	0,17
14	13,07	5,93	4,3	3,2	1,1	221	16,91	0,94
15	1,34	5,87	4,5	3,7	0,8	6	4,48	0,30
16	1,06	5,51	4,1	3,1	1,0	8	7,55	0,47
17	1,29	6,97	5,5	5,5	0,0	0	0,00	0,00
18	0,20	7,10	4,8	4,8	0,0	0	0,00	0,00
19	0,68	6,05	2,7	2,7	0,0	0	0,00	0,00
20	0,51	6,82	3,8	3,3	0,5	3	5,91	0,21
21	1,27	6,68	2,7	2,5	0,2	4	3,14	0,22
22	4,18	6,37	4,0	3,8	0,2	19	4,54	0,31
23	5,65	4,81	4,3	3,5	0,8	84	14,87	1,06
24	1,24	2,57	2,2	2,2	0,0	0	0,00	0,00
25	0,99	6,25	3,2	3,2	0,0	0	0,00	0,00
26	0,70	5,00	7,0	5,0	2,0	0	0,00	0,00
27	1,30	5,99	4,3	3,0	1,7	10	7,69	0,53
28	0,25	3,99	2,0	2,0	0,0	0	0,00	0,00
29	0,65	7,35	3,0	3,0	0,0	0	0,00	0,00
30	10,72	6,22	5,5	4,4	1,1	149	13,90	1,05
31	8,16	4,91	4,6	3,7	0,9	62	7,60	0,65
32	0,57	5,40	2,5	2,2	0,3	1	1,76	0,17
33	16,36	6,35	4,6	3,8	0,8	295	18,04	0,74
34	0,29	10,06	3,1	3,0	0,1	4	13,51	0,06
35	1,20	6,98	5,6	5,1	0,5	6	5,01	0,21
36	8,13	7,52	4,3	3,5	0,8	221	27,18	0,82
37	0,67	7,35	2,7	2,7	0,0	0	0,00	0,00
38	1,10	9,01	4,0	3,6	0,4	14	12,69	0,25
39	1,06	7,50	4,5	4,2	0,3	8	7,51	0,10
40	0,69	7,77	4,3	4,2	0,1	1	1,45	0,06
41	2,35	5,38	6,0	4,5	1,5	18	7,66	0,50
42	3,27	3,63	6,6	4,5	2,1	25	7,64	0,42
43	0,40	5,53	2,7	2,7	0,0	0	0,00	0,00
44	0,18	6,93	2,2	2,2	0,0	0	0,00	0,00
45	3,26	4,99	4,2	3,7	0,5	21	6,44	0,43
46	0,37	10,74	3,9	3,9	0,0	0	0,00	0,00
47	0,33	9,47	4,7	3,8	0,9	5	15,37	0,26
48	0,31	4,02	2,2	2,2	0,0	0	0,00	0,00
49	18,21	5,63	4,8	3,7	1,1	394	21,64	1,09
50	7,69	4,61	3,5	2,2	1,3	288	37,47	2,30
51	3,51	3,78	10,0	3,0	7,0	28	7,98	0,78
52	2,91	3,31	4,2	4,2	0,0	0	0,00	0,00
53	4,48	3,16	5,6	3,0	2,6	21	4,69	0,72
54	13,54	4,13	4,8	3,0	1,8	98	7,24	1,07
55	2,50	3,23	4,0	3,0	1,0	6	2,40	0,40
56	2,34	2,67	3,0	2,7	0,3	2	0,85	0,22
57	16,28	3,52	5,1	3,3	1,8	140	8,60	1,24
<i>intero bacino</i>	312,33	4,89	5,7	4,6	1,1	6817	21,83	1,52

superficiale. Per la compilazione della suddetta carta si è fatto uso delle tavolette dell'I.G.M. (scala 1:25.000), opportunamente integrate mediante l'osservazione delle fotografie aeree (scala 1:33.000 circa) e gli opportuni controlli sul terreno.

Data la notevole estensione del bacino in esame (tab. 1), si è resa necessaria la suddivisione in bacini parziali relativi ad aste direttamente influenti nel collettore principale, considerati come entità geomorfiche individuali. In taluni casi la notevole estensione dei bacini parziali e la distribuzione disomogenea delle aste fluviali al loro interno ha reso necessaria la suddivisione in sottobacini minori. Per distinguere i vari bacini parziali si è usata una numerazione progressiva, mentre gli eventuali sottobacini sono stati indicati con una lettera. Ad ogni bacino, inoltre, è stato assegnato l'ordine relativo al segmento fluviale di grado più elevato in esso compreso, adottando per tale classificazione il sistema proposto da STRAHLER (1954).

Osservando la carta allegata, redatta in scala 1:25.000 e quindi ridotta alla scala 1:100.000 per motivi editoriali, si può notare in primo luogo che il bacino è caratterizzato da una rete idrografica di tipo dendritico, con la presenza subordinata di un reticolo di tipo pinnato laddove affiorano i litotipi più schiettamente argillosi.

Sulla base della carta suddetta sono state prese in considerazione le principali caratteristiche morfometriche della rete idrografica del bacino del F. Sinello. Tali caratteristiche, esprimibili mediante opportuni parametri, riguardano sia lo sviluppo che il grado di organizzazione del drenaggio superficiale; a esse appaiono maggiormente legati i processi erosivi in atto nei bacini idrografici.

### *Densità di drenaggio*

In termini quantitativi lo sviluppo del drenaggio superficiale può essere espresso dal parametro *densità di drenaggio* ( $D$ ), (HORTON, 1945). Il valore di tale parametro varia al variare della permeabilità, dell'erodibilità e dell'intensità della fratturazione dei litotipi affioranti; esso può pertanto essere considerato espressivo delle caratteristiche litologiche e del grado di tettonizzazione dell'area in esame. La densità di drenaggio è legata, inoltre, alle condizioni climatiche, alla copertura vegetale e all'acclività dei versanti.

Esaminando i valori di questo parametro nell'ambito del bacino idrografico del Fiume Sinello, si osserva che questi variano da un massimo di 10,74 a un minimo di 2,57 (bacini parziali n. 46 e 24 rispettivamente; tab. 1). Valori molto elevati della densità di drenaggio ( $D > 7$ ) si riscontrano generalmente in bacini parziali di piccole dimensioni, impostati prevalentemente sui litotipi argillosi e interessati da diffusi processi di erosione calanchiva. I valori più bassi del parametro in esame ( $D < 4$ ) si riscontrano, invece, nei bacini parziali caratterizzati o da una scarsa acclività o da una ampia diffusione di litotipi carbonatici fortemente permeabili.

Ulteriori considerazioni sulla distribuzione dei valori della densità di drenaggio e sui rapporti tra questo parametro e le condizioni geologico-strutturali verranno fatte nel paragrafo riguardante la valutazione dell'entità dei processi erosivi.

### *Gerarchizzazione dei reticoli idrografici*

La densità di drenaggio è senza dubbio espressione di alcune caratteristiche di primaria importanza nello studio dei processi di modellamento in atto nei bacini di drenaggio. Altrettanto importante è comunque l'esame della disposizione geometrica e dell'organizzazione dei reticoli idrografici; tale esame, infatti, può contribuire alla individuazione delle tendenze evolutive dei bacini fluviali e alla determinazione delle modalità e della velocità dei processi erosivi che in essi hanno luogo.

Lo stato di organizzazione e quindi di evoluzione dei reticoli idrografici dipende, ovviamente, dalle condizioni litologiche, tettoniche, climatiche e vegetazionali dei vari bacini; esso può essere valutato quantitativamente mediante parametri che esprimono il grado di gerarchizzazione delle aste fluviali presenti nelle diverse aree.

Per analizzare lo stato di organizzazione delle reti idrografiche del bacino del Fiume Sinello tutte le aste fluviali sono state innanzitutto classificate secondo il sistema di STRAHLER (1954); quindi sono stati calcolati i seguenti parametri: il *rapporto di biforcazione* ( $Rb$ ), *rapporto di biforcazione diretto* ( $Rbd$ ), e l'*indice di biforcazione* ( $R$ ) (HORTON, 1945; AVENA & alii, 1967). Per definire più compiutamente il grado di gerarchizzazione dei reticoli idrografici in esame, sono stati infine considerati i seguenti parametri: *numero* ( $Ga$ ), *indice* ( $\Delta a$ ) e *densità di anomalia gerarchica* ( $ga$ ) (AVENA & alii, 1967).

Nella tabella 1 sono riportati i valori dei vari parametri presi in considerazione, calcolati sia per l'intero bacino, sia per i bacini parziali. L'analisi di questi valori evidenzia, nel complesso, come la rete idrografica del Fiume Sinello presenti un grado di organizzazione piuttosto basso. Gli elevati valori sia dei rapporti e dell'indice di biforcazione, sia della densità e dell'indice di anomalia gerarchica (tab. 1) testimoniano l'esistenza di una rete idrografica nel complesso fortemente disorganizzata e in stato di marcato in-equilibrio.

Esaminando più dettagliatamente i bacini parziali si osserva come i parametri espressivi della gerarchizzazione dei reticoli idrografici presentino valori generalmente elevati (tab. 1). In linea generale si può affermare che i valori massimi dei parametri si registrano per le reti idrografiche impostate sui litotipi argillosi o a marcata componente argillosa (ad esempio, bacini n. 7, 8, 33, 36, 49 e 50). I valori più bassi, uguali al minimo teorico, sono stati calcolati per bacini di piccole dimensioni (bacini n. 2, 3 e 28) e a scarsa acclività.

### ANALISI IPSOMETRICA

A completamento dell'analisi geomorfica quantitativa, è stato eseguito lo studio delle caratteristiche ipsometriche del bacino idrografico del Fiume Sinello, al fine di valutarne lo stadio evolutivo. Sono state costruite le curve ipsografiche relative sia all'intero bacino che ai bacini parziali in esso individuati. Onde poter confrontare le curve relative a bacini di diverse dimensioni, si è adottato il metodo ipsometrico percentuale proposto da STRAHLER (1952) met-

tendo a confronto le aree delle sezioni planimetriche di ogni bacino idrografico con le relative elevazioni rispetto alla foce; nei casi esaminati sono state scelte come contorni limite delle varie sezioni le isoipse con equidistanza di 25 metri.

Nella «Carta dell'indice di erosione» (f.t.) sono illustrate le curve relative all'intero bacino del Fiume Sinello e ai suoi principali sottobacini. Analizzando la curva ipsografica relativa all'intero bacino si può notare come essa presenti una generale concavità verso l'alto, indicativa di uno stadio evolutivo piuttosto avanzato. Questa caratteristica sembra contrastare con lo stato di disorganizzazione osservato per la rete idrografica. In realtà, la mancata concordanza tra lo stadio evolutivo del bacino di drenaggio e il grado di organizzazione del relativo reticolo idrografico può essere spiegata ammettendo l'esistenza di movimenti tettonici molto recenti, che abbiano prodotto effetti immediati nell'organizzazione della rete idrografica, ma non abbiano determinato modificazioni altrettanto veloci nello stato evolutivo dei bacini. Su questa ipotesi si tornerà più avanti, dopo aver affrontato lo studio degli indizi morfologici di neotettonica.

Esaminando le curve relative ai singoli bacini parziali in cui è stato suddiviso il bacino del Fiume Sinello (vedi «carta dell'indice di erosione» f.t.), si nota come esse possano essere raggruppate in tre famiglie principali, caratterizzate da: a) una marcata concavità verso l'alto, con integrale ipsometrico di modesta entità; b) una netta concavità verso il basso, con integrale ipsometrico elevato; c) andamenti intermedi ai due precedenti, con integrale ipsometrico prossimo a 0,5. Secondo l'interpretazione classica di STRAHLER (1952) i tre gruppi di curve dovrebbero riferirsi a bacini idrografici rispettivamente in «fase di monadnock», in «fase di inequilibrio» o «giovanile» e in «fase di equilibrio» o di «maturità».

Si può inoltre osservare che quelle della terza famiglia sono senza dubbio le più comuni; ne sono tipici esempi le curve dei bacini n. 2, 5, 6, 9, 11, 12, 20, 34, 38, 47 e 48. Meno frequenti appaiono le curve della seconda famiglia (bacini n. 13, 23, 28, 43, 56). Decisamente rare appaiono le curve della prima famiglia (bacini n. 4, 14, 32) e quelle interrotte da flessi (bacini n. 17, 42, 49).

In studi più moderni (CICCACCI & alii, 1988; 1992), tuttavia, a questa interpretazione classica è stata affiancata una spiegazione di tipo diverso. Secondo le vedute più recenti, le curve ipsografiche esprimono non solo i vari stadi del «ciclo geomorfico», ma anche le modalità e la intensità con le quali hanno luogo i fenomeni di denudazione nei bacini idrografici. In questa ottica le curve della prima famiglia non identificano bacini in «fase di monadnock» e quindi sottoposti a processi erosivi poco attivi, bensì bacini in cui l'azione morfogenetica dominante va attribuita ai processi di erosione sui versanti. Analogamente, le curve della seconda famiglia non indicano bacini semplicemente in «fase giovanile», ma piuttosto bacini nei quali i processi di denudazione sui versanti sono decisamente subordinati all'approfondimento verticale operato dai corsi d'acqua. Infine, le curve della terza famiglia non corrispondono semplicemente a bacini «maturi», ma più precisamente a bacini nei quali l'erosione lineare e quella sui versanti tendono a bilanciarsi.

Anche per i bacini esaminati è possibile individuare rispondenze analoghe tra andamento delle curve ipsometriche e tipologia e intensità dei processi morfogenetici, già trattati nel capitolo «Forme e processi di denudazione». Su questo argomento si tornerà in maniera più approfondita nelle «Considerazioni conclusive».

## VALUTAZIONE DELL'ENTITÀ DELL'EROSIONE

Per valutare quantitativamente l'entità dei processi erosivi in atto nel bacino del Fiume Sinello, si è fatto ricorso a una metodologia già applicata con risultati soddisfacenti ad altri bacini di drenaggio (CICCACCI & alii, 1981; CICCACCI & alii, 1983; CICCACCI & alii, 1987; CICCACCI & alii, 1988; 1992).

Tale metodologia si basa sulla possibilità di valutare indirettamente l'entità dell'erosione mediante l'applicazione di relazioni matematiche, statisticamente significative, che legano il valore di alcuni parametri morfometrici con quello del deflusso torbido unitario medio annuo ( $Tu$ , in  $t/km^2/a$ ).

Quest'ultimo parametro, assunto come *indice di erosione*, può quindi essere calcolato anche laddove non esistono stazioni di misura torbiometriche. In effetti tale indice esprime la quantità di materiali portati in sospensione dai corsi d'acqua e pertanto rappresenta solo una parte dei materiali asportati dai processi di denudazione che si svolgono nei bacini idrografici. Questo limite di rappresentatività, comunque, assume importanza relativa nei casi di bacini idrografici impostati prevalentemente su rocce terrigene, nei quali il materiale rimosso viene trasportato dai corsi d'acqua soprattutto in sospensione (il deflusso torbido raggiunge fino al 70-80% del trasporto solido globale). In questi casi, tra i quali ricade anche il bacino esaminato nel presente lavoro, i valori di  $Tu$  si possono considerare, almeno in prima approssimazione, come validi indicatori dell'entità dei processi erosivi (LUPIA PALMIERI, 1983).

Fra le diverse relazioni individuate con gli studi sopracitati, nel presente lavoro sono state scelte alcune delle equazioni più significative, che legano i valori di  $Tu$  a quelli di  $D$  e di  $\Delta a$ .

Più in particolare per il calcolo dell'indice di erosione relativo al bacino in esame è stata applicata l'equazione

$$(1) \log Tu = 1,44780 + 0,32619 D + 0,10247 \Delta a,$$

che ha coefficiente di determinazione  $r^2 = 0,963$ . Il valore ottenuto per l'intero bacino del Fiume Sinello è di 1581  $tonn/km^2/anno$  e indica come tale bacino risulti sottoposto a processi erosivi piuttosto intensi.

Per evidenziare le variazioni dell'entità dei processi erosivi nelle diverse parti del bacino, sono stati calcolati i valori dell'indice di erosione relativi ai singoli bacini parziali precedentemente individuati. In questo caso, oltre l'equazione (1) già citata, il calcolo di  $Tu$  è stato eseguito utilizzando anche la seguente equazione:

$$(2) \log Tu = 1,05954 + 2,79687 \log D + 0,13985 \Delta a,$$

che ha coefficiente di determinazione  $r^2 = 0,961$ . L'impiego di questa equazione bilogarithmica si è reso necessario

TABELLA 2 - Valori della densità di drenaggio, dell'indice di anomalia gerarchica e del deflusso torbido unitario medio annuo relativi ai bacini parziali e all'intero bacino idrografico del Fiume Sinello

TABLE 2 - Drainage density, hierarchical anomaly index and mean annual unitary suspended sediment yield values for the whole Fiume Sinello drainage basin and for its partial basins

Bacino	D km/km <sup>2</sup>	$\Delta a$	Tu t/km <sup>2</sup> /anno
1	4,46	0,96	1002
2	5,15	0,00	1340
3	3,08	0,00	283
4	5,67	1,22	2643
5	6,12	0,05	1849
6	6,36	0,86	2673
7	5,47	1,01	2168
8	7,76	0,68	4400
9	5,30	1,02	1910
9a	bacino endoreico		
10	7,47	0,86	4192
11	7,87	0,00	3677
12	5,86	0,62	2648
13	4,46	0,17	832
14	5,93	0,94	3006
15	5,87	0,30	2472
16	5,51	0,47	1963
17	6,97	0,00	2620
18	7,10	0,00	2757
19	6,05	0,00	1762
20	6,82	0,21	3399
21	6,68	0,22	3208
22	6,37	0,31	2249
23	4,81	1,06	1334
24	2,57	0,00	193
25	6,25	0,00	1930
26	bacino endoreico		
27	5,99	0,53	2858
28	3,99	0,00	561
29	7,35	0,00	3037
30	6,22	1,05	2670
31	4,91	0,65	1306
32	bacino endoreico		
33	6,35	0,74	2560
34	10,06	0,06	7442
35	6,98	0,21	2723
36	7,52	0,82	4216
37	7,35	0,00	3037
38	9,01	0,25	5429
39	7,50	0,10	3319
40	7,77	0,06	3617
41	5,38	0,50	1803
42	3,63	0,42	473
43	5,53	0,00	1786
44	6,93	0,00	2576
45	4,99	0,43	1318
46	10,74	0,00	8773
47	9,47	0,26	6708
48	4,02	0,00	574
49	5,63	1,09	2489
50	4,61	2,30	1538
51	3,78	0,78	577
52	3,31	0,00	337
53	3,16	0,72	356
54	4,13	1,07	804
55	3,23	0,40	348
56	2,67	0,22	219
57	3,52	1,24	528
<i>intero bacino</i>	4,89	1,52	1581

per i bacini in cui il valore di  $D$  è maggiore di 6, secondo quanto indicato dagli autori (CICCACCI & *alii*, 1981, 1987).

Nella tabella 2 sono riportati i valori dei parametri  $D$  e  $\Delta a$  e i valori dell'indice di erosione ( $Tu$ ) calcolati per l'intero bacino e per ciascuno dei bacini parziali considerati.

Infine, per ottenere indicazioni sull'entità dei processi erosivi nelle aree direttamente drenate dal F. Sinello e dai suoi affluenti di primo e secondo ordine, si è calcolato l'indice di erosione per porzioni omogenee dei fondovalle, utilizzando la densità di drenaggio propria di ciascuna porzione e il  $\Delta a$  espresso come contributo fornito da tali porzioni al  $\Delta a$  totale del bacino che le comprende (CICCACCI & *alii*, 1985).

### Carta dell'indice di erosione

Sulla base dei valori ottenuti per il deflusso torbido unitario medio annuo, è stata costruita la «Carta dell'indice di erosione» (f.t.) che mette in luce le variazioni areali del parametro  $Tu$  nell'ambito del bacino idrografico esaminato.

Per la rappresentazione cartografica i valori di  $Tu$  sono stati riuniti in nove classi; quindi tutti i bacini e le aree parziali per i quali è stato calcolato tale parametro sono stati contraddistinti dal colore della classe di appartenenza.

Esaminando la carta dell'indice di erosione si può notare innanzitutto che in prossimità della zona costiera i valori calcolati del  $Tu$  appartengono quasi esclusivamente alle prime classi; i valori più bassi si registrano nei bacini n. 3, 52, 53, 55, 56, a indicare che qui i processi erosivi non sono molto marcati. In quest'area, infatti, affiorano estesamente conglomerati di chiusura del ciclo plio-pleistocenico e solo subordinatamente, lungo le incisioni vallive maggiori, sottostanti litotipi sabbiosi e argillosi; le pendenze, inoltre, si mantengono generalmente basse e di conseguenza il potere erosivo delle acque correnti superficiali è molto limitato.

Sempre in questa zona, si può notare una notevole differenza tra i bacini impostati sul versante sinistro rispetto a quelli impostati sul versante destro; in questi ultimi, infatti, i valori dell'indice di erosione sono generalmente più elevati. Ciò può essere spiegato osservando come sul versante destro del bacino del F. Sinello i litotipi conglomeratici siano molto meno diffusi che sul versante sinistro e come l'energia di rilievo sia decisamente più elevata.

Proseguendo verso monte, i valori dell'indice di erosione aumentano notevolmente; i valori più elevati (VII, VIII e IX classe) si concentrano nella parte centrale del bacino, in bacini parziali (nn. 4, 6, 7, 8, 10, 34, 36, 46, 47, 49) impostati quasi esclusivamente su litotipi argillosi (Argille azzurre plioceniche e/o Argille scagliose) e in zone caratterizzate da pendenze dei versanti generalmente ripide. Valori leggermente più bassi (V e VI classe) possono essere individuati in quest'area in corrispondenza di bacini impostati prevalentemente sulla Formazione Tuffillo, di natura calcareo-marnosa (come, ad esempio, il bacino n. 9), oppure in piccoli bacini litologicamente disomogenei e/o con pendenze non troppo elevate (bacini n. 41, 42, 45).

Nella parte montana del bacino i valori di  $Tu$  sono piuttosto elevati, ma non raggiungono quelli massimi. In

quest'area affiorano prevalentemente litotipi flyschoidi pelitico-arenacei e arenaceo-pelitici, spesso fortemente tettonizzati; pertanto i processi erosivi sono talvolta molto spinti (ad esempio, bacini n. 21, 22, 30). Infine nella zona dove affiorano prevalentemente i litotipi calcarei e calcareo-marnosi della Formazione Tuffillo, i valori dell'indice di erosione decrescono notevolmente; proprio in questa zona si raggiungono i valori minimi di tale parametro nel bacino n. 24, un piccolo bacino interamente impostato su calcari e con un reticolo idrografico ben organizzato.

### INDIZI MORFOLOGICI DI TETTONICA

L'analisi degli indizi morfologici di tettonica è stata condotta in primo luogo mediante l'interpretazione di fotografie aeree (a scala 1:33.000 e 1:20.000 circa) opportunamente integrata da una cospicua serie di controlli sul terreno.

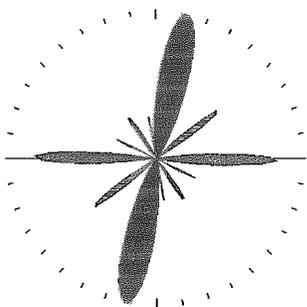
Seguendo nella sostanza il metodo suggerito dalla «Proposta per un progetto operativo per la Carta Neotettonica d'Italia» (Prog. Fin. Geodinamica del C.N.R.), sono stati identificati tutti gli elementi morfologici che possono considerarsi indicativi di un controllo tettonico, quali, ad esempio, crinali rettilinei, discontinuità planimetriche e altimetriche dei crinali, selle, scarpate, segmenti fluviali rettilinei ecc. Quando ritenuti significativi, gli allineamenti di tali indizi sono stati considerati come faglie, faglie presunte e fratture; quindi sono stati cartografati assieme agli elementi morfologici che ne hanno consentito l'individuazione. È stata così ottenuta la «Carta degli indizi morfotettonici» (f.t.) ed è stato possibile delineare un primo quadro morfostrutturale del bacino esaminato. (Va sottolineato che in queste carte i simboli degli elementi morfologici sono ubicati su di un solo lato degli elementi tettonici individuati e a una distanza fissa da essi; pertanto, mentre la posizione degli elementi tettonici è reale, quella degli indizi morfologici è puramente indicativa).

Nel bacino idrografico del Fiume Sinello è ben evidente la notevole incidenza di motivi tettonici nella configurazione morfologica. Tale configurazione appare infatti guidata da alcune direttrici tettoniche, tra le quali le più significative risultano quelle orientate nelle direzioni N-S, E-W, intorno NE-SW e intorno NW-SE. L'influenza delle dislocazioni avvenute lungo queste direttrici risulta, comunque, differenziata nelle diverse parti del bacino.

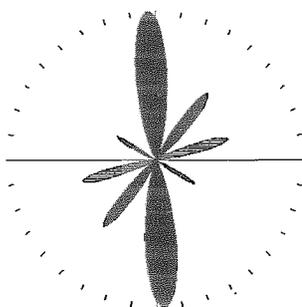
Esaminando la parte più montana, soprattutto sul versante sinistro della valle principale, si nota la prevalenza di direttrici con orientazione variabile da E-W a NE-SW. Subordinatamente in questa zona, e in particolare nel versante destro del T. Sinello, è presente anche la direzione NW-SE; secondo quest'ultima direzione si individua però il vistoso allineamento morfologico, interpretato come faglia, che congiunge M. Sorbo con La Montagnola e limita verso valle questa prima parte del bacino.

Nella parte media e bassa del bacino, in corrispondenza dell'affioramento dei litotipi plio-pleistocenici, la direzione tettonica più rappresentata è quella E-W; subordinatamente come frequenza, ma non come rilevanza, compaiono an-

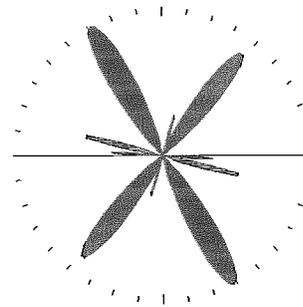
ASTE I ORDINE  
ANALISI PER LUNGHEZZA  
Totale dati: 126117



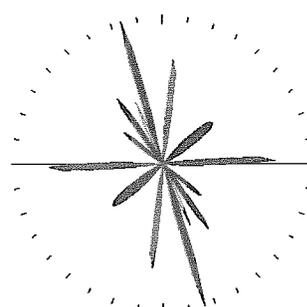
ASTE II ORDINE  
ANALISI PER LUNGHEZZA  
Totale dati: 38464



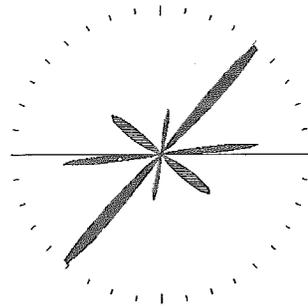
ASTE III ORDINE  
ANALISI PER LUNGHEZZA  
Totale dati: 18774



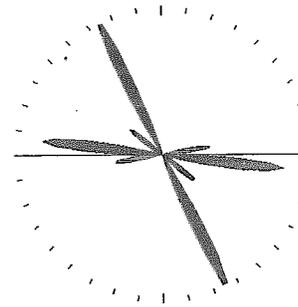
ASTE IV ORDINE  
ANALISI PER LUNGHEZZA  
Totale dati: 10981



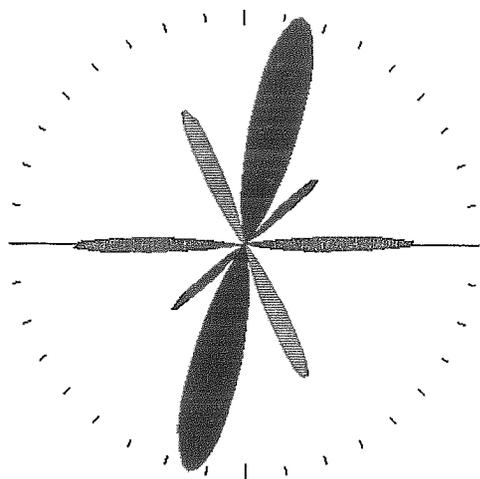
ASTE V ORDINE  
ANALISI PER LUNGHEZZA  
Totale dati: 4553



ASTE VI ORDINE  
ANALISI PER LUNGHEZZA  
Totale dati: 4974



ASTE FLUVIALI BACINO DEL FIUME SINELLO  
ANALISI PER LUNGHEZZA - Totale dati: 203863



#	alt.	azim.	sd
1	1.9	14.0	17.0
2	1.4	89.4	6.6
3	1.2	-24.2	10.3
4	0.8	47.9	7.6

FIG. 1 - Diagrammi a rosa dei venti della distribuzione azimutale delle aste fluviali di ciascun ordine e dell'intero reticolo del bacino del Fiume Sinello. Il «Totale dati» indica la lunghezza cumulata, espressa in decimetri, delle aste rettificata. Nella tabella sono riportati i parametri delle singole gaussiane (altezza azimut, deviazione standard) relative all'analisi dell'intera rete idrografica.

FIG. 1 - Rose-diagrams of azimuthal distribution of stream channels of each order and of the whole Fiume Sinello network. «Totale dati» is the cumulative length (in decimetres) of rectified stream channels. The table shows the parameters (high, azimuth, standard deviation) of the single gaussian curves drawn from the analysis of the whole network.

che le direttrici N-S e NE-SW. Quest'ultima, in particolare, condiziona il decorso di alcuni affluenti di sinistra e l'impostazione del tratto intermedio e basso della valle dello stesso F. Sinello; tale direttrice sembra interrompersi contro l'evidente dislocazione diretta N-S che controlla il corso del T. Cena e la porzione terminale della valle del F. Sinello. Questa osservazione, unitamente alla presenza, secondo l'allineamento NE-SW, di elementi morfologici profondamente elaborati, lascia ipotizzare che l'attività delle direttrici tettoniche NE-SW sia meno recente di quella delle direttrici orientate N-S.

Come già detto, gli allineamenti morfotettonici più frequentemente osservati in questa parte del bacino si dispongono secondo la direzione E-W; essi sono presenti quasi esclusivamente in sinistra del corso d'acqua principale, cioè a Ovest della direttrice N-S prima citata, mentre sono assenti in destra del F. Sinello, dove compaiono invece allineamenti con direzioni N-S e NW-SE.

Molti degli elementi morfologici che hanno consentito di individuare le linee tettoniche con direzione E-W presentano le caratteristiche di uno stadio iniziale dell'evoluzione. Questa considerazione, assieme all'osservazione che le linee con direzione E-W talora intersecano la direttrice N-S, ha consentito di avanzare l'ipotesi, ovviamente da verificare, che l'attività tettonica con direzione E-W abbia fatto sentire i suoi effetti in tempi ancor più recenti rispetto a quella avvenuta lungo la direttrice N-S.

Infine, è da segnalare, all'interno del bacino, la presenza di superfici terrazzate che si estendono verso monte fino ai dintorni del Colle delle Piane. Risulta evidente il diverso sviluppo areale nel tratto terminale della valle del F. Sinello; qui infatti si rinvencono tre ordini di terrazzi fluviali, prevalentemente ubicati in sinistra idrografica, cioè a Ovest della direttrice tettonica orientata N-S, rispetto alla quale, quindi, potrebbe essersi verificato un sollevamento differenziale, più accentuato nel versante destro della valle.

#### *Distribuzione azimutale delle aste fluviali*

Per meglio individuare eventuali direzioni preferenziali di scorrimento, è stata eseguita anche una analisi statistica della distribuzione azimutale dei segmenti rettilinei in cui è possibile scomporre tutte le vie di drenaggio superficiale del bacino idrografico in esame. A tal fine è stata impiegata una metodologia messa a punto in lavori precedenti e già applicata in altre aree italiane con risultati di indubbio interesse (CICCACCI & *alii*, 1986; CICCACCI & *alii*, 1988; CAPUTO & *alii*, 1993; BUONASORTE & *alii*, 1991).

La rete idrografica del bacino, determinata nei dettagli mediante carte topografiche I.G.M.I., fotografie aeree e opportuni controlli sul terreno, è stata rappresentata sulla già citata «Carta del reticolo idrografico» (f.t.). Tale rete, ordinata gerarchicamente secondo il metodo di STRAHLER (1954), è stata rettificata mediante un procedimento semiautomatico. Quindi è stata eseguita l'analisi della distribuzione azimutale dei segmenti rettilinei per lunghezza cumulata; i relativi risultati sono stati evidenziati mediante

una serie di diagrammi a rosa dei venti, nei quali i picchi principali indicano le orientazioni preferenziali, o «dominanti», delle linee di drenaggio superficiale.

La suddetta analisi è stata condotta tanto per l'intera rete idrografica del bacino che per i segmenti fluviali dei singoli ordini gerarchici. Ciò in considerazione del fatto che aste fluviali di ordine diverso possono essere controllate dalla tettonica in modo e in tempi differenti; in particolare, come già emerso nei citati lavori precedenti, è verosimile che le aste fluviali di ordine più basso, impostatesi in momenti successivi rispetto a quelli di ordine superiore, siano controllate dalle direzioni tettoniche attive nei tempi più recenti.

I risultati dell'analisi della distribuzione azimutale delle aste fluviali eseguita per il bacino del Fiume Sinello mettono in luce la corrispondenza tra talune direzioni preferenziali di scorrimento e alcune delle direttrici tettoniche individuate su basi morfologiche. Il diagramma a rosa dei venti relativo alla totalità delle aste (fig. 1) evidenzia la prevalenza di un dominio intorno N-S (N 14° E), cui segue immediatamente un dominio con direzione E-W; accanto a questi, comunque, compaiono altri due picchi secondari orientati intorno NW-SE e NE-SW. Anche nel bacino in esame esiste, pertanto, una notevole concordanza fra le direzioni preferenziali di scorrimento e quelle delle direttrici tettoniche desunte dagli indizi morfologici.

Sia pure con importanza relativa variabile, le stesse direzioni compaiono anche nei grafici relativi alle aste fluviali dei diversi ordini (fig. 1). Il dominio N-S appare subordinato (o addirittura assente) nei diagrammi relativi agli ordini più alti, ma figura con il picco più evidente in quelli che mostrano la distribuzione azimutale dei segmenti del primo e secondo ordine. I domini intorno NW-SE e intorno NE-SW sono evidenti per le aste di ordine più elevato (sesto e quinto), divengono nettamente prevalenti per le aste del terzo ordine e appaiono decisamente subordinati nei diagrammi relativi al secondo e al primo ordine. Infine, il dominio E-W (o intorno E-W) è presente per gli ordini più alti, tende a decrescere di importanza con il diminuire dell'ordine e, infine, diventa nuovamente preponderante per i segmenti rettilinei del primo ordine. Apparentemente diverso dagli altri risulta il diagramma relativo alle aste di quarto ordine; qui infatti, sono presenti numerosi picchi variamente orientati, anche se prevalgono quelli disposti nelle direzioni E-W e N16° W (dominio N-S ?).

Sulla base della diversa distribuzione dei domini osservata per i segmenti fluviali dei differenti ordini, è possibile tracciare uno schema di probabile successione dell'attività tettonica lungo le direttrici che hanno fortemente influenzato la configurazione morfologica del bacino idrografico del Fiume Sinello. In questo quadro le linee tettoniche corrispondenti ai domini NW-SE, NE-SW e intorno E-W, presenti negli ordini gerarchici più elevati, avrebbero condizionato soprattutto le fasi più antiche dell'evoluzione del bacino esaminato. Successivamente avrebbero agito prevalentemente le direttrici orientate nelle direzioni E-W e N-S: in particolare, è verosimile ammettere che le prime abbiano condizionato inizialmente lo sviluppo delle aste fluviali di ordine superiore (dal sesto al quarto ordine) e quindi, durante una fase di riattivazione recente, quello

delle aste di primo ordine; le direttrici N-S, invece, avrebbero agito soprattutto in tempi recentissimi. In sostanza, la presenza, nei diagrammi relativi alle aste di primo e secondo ordine, degli evidenti domini N-S, non riscontrati per gli altri ordini fluviali, può essere considerata come il risultato di un controllo tettonico che si sarebbe esercitato appunto sull'impostazione dei segmenti fluviali più giovani.

Occorre a questo punto osservare che mentre il tratto terminale del Fiume Sinello (di sesto ordine) presenta una direzione N-S, l'analisi della distribuzione azimutale dei segmenti rettilinei mette in evidenza la presenza di un dominio orientato non esattamente in direzione N-S ma in direzione N 25° W. Questa apparente contraddizione si può spiegare considerando che se realmente la direzione di scorrimento N-S è controllata da una direttrice tettonica con direzione analoga e attività recente, l'influenza di tali dislocazioni può non essersi risentita in tempi brevi su aste fluviali di ordine elevato, verosimilmente già impostate secondo direzioni differenti in fasi precedenti dell'evoluzione e attualmente divergenti su un fondovalle alluvionale.

In definitiva sembra lecito affermare che nel bacino esaminato le linee tettoniche ad attività più recente siano quelle orientate in direzione N-S; secondo queste linee si sarebbero verificati fenomeni di sollevamento differenziale (maggiore nel versante orientale), come è dimostrato dalla asimmetria del tratto terminale della valle del Fiume Sinello e dalla disomogenea distribuzione delle superfici terrazzate.

## ENERGIA DEL RILIEVO

Il parametro *energia di rilievo* ( $E_r$ ) si esprime come dislivello massimo misurato in una determinata area. Se calcolato per aree unitarie, nell'ambito di bacini idrografici di considerevole estensione, questo parametro permette di individuare zone potenzialmente caratterizzate da approfondimento fluviale più o meno marcato. Come già dimostrato in altre sedi (CICCACCI & *alii*, 1988; CICCACCI & *alii*, 1988; CENTAMORE & *alii*, 1995), a parità di altre condizioni questa diversa intensità dell'erosione fluviale può essere indicativa di sollevamenti o abbassamenti differenziali recenti o ancora in atto, cioè di elementi tettonici areali.

Volendo esaminare le variazioni areali dell'energia di rilievo, la superficie del bacino del Fiume Sinello è stata suddivisa in quadrati di 1 km di lato, per ciascuno dei quali è stato determinato il suddetto parametro; sulla base dei valori ottenuti, espressi in metri, è stata costruita una carta che, mediante una rappresentazione a mosaico, mette in risalto l'andamento dell'energia del rilievo all'interno del bacino. Data la variabilità del parametro, si è ritenuto opportuno suddividere i valori dell'energia di rilievo in otto classi («Carta dell'energia del rilievo», f.t.).

La carta dell'energia del rilievo mette in luce innanzitutto, una minore variabilità del parametro e una maggior diffusione delle classi di  $E_r$  più basse (dalla I alla IV). I valori più elevati (dalla V classe alla VIII classe) si rinvenivano quasi esclusivamente nella zona di testata del bacino, a

monte degli abitati di Montazzoli e Roccaspinaveti, dove affiorano i calcari detritici del Tortoniano-Langhiano e le arenite calcaree del Messiniano-Tortoniano. Più a Est, valori ancora elevati (VI classe e VII classe) si osservano nei rilievi calcarei de La Torretta (sullo spartiacque sinistro) e del Monte Sorbo (sullo spartiacque destro).

Procedendo verso valle i valori del parametro in esame tendono a decrescere. Tuttavia, da La Montagnola verso Carpineto Sinello e fino alle propaggini nord-orientali del Monte Sorbo si può riscontrare una fascia discontinua, piuttosto stretta e sinuosa, caratterizzata da valori dell'energia di rilievo mediamente più elevati (IV classe e V classe) di quelli delle aree circostanti; tale fascia corrisponde al fronte di accavallamento dei litotipi calcarei tortoniano-langhiani sulle argille e argille marnose plioceniche.

Nella parte media e inferiore del bacino i valori del parametro si mantengono generalmente bassi. Si nota, però, la presenza di valori leggermente più elevati che contraddistinguono i versanti orientali della bassa valle del Fiume Sinello e della valle del T. Cena. Questa situazione è in accordo con il possibile sollevamento differenziale secondo la direttrice tettonica orientata N-S, già ipotizzato in base allo studio degli indizi morfologici di tettonica.

Infine, è da annotare una certa connessione tra i valori dell'energia di rilievo e il tipo e la intensità dei processi di denudazione in atto.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il confronto e l'integrazione dei dati ottenuti tramite le indagini geologiche e morfologiche condotte sul bacino del Fiume Sinello consentono di giungere alla corretta identificazione e alla soddisfacente caratterizzazione delle aree maggiormente soggette a intensa morfogenesi.

L'analisi geomorfica quantitativa e lo studio di dettaglio dei processi di denudazione concordano in maniera evidente nell'indicare che più dei 2/3 della superficie in esame è interessata da marcate modificazioni geomorfiche, che si realizzano tramite fenomeni diversi e con differente intensità.

Come già visto, l'indagine morfografica ha permesso di riconoscere nel settore montano, esteso fino alla dorsale di Carpineto Sinello, l'area a più intensa morfogenesi. I bacini parziali che ricadono in questo settore mostrano indici di erosione alquanto elevati. Più esattamente, la zona di testata, ove prevale l'approfondimento fluviale, è caratterizzata da valori di  $Tu$  appartenenti alla V classe ( $1200 < Tu < 1500$ ) e alla VII classe ( $2000 < Tu < 4000$ ); nella restante parte del settore, ove all'approfondimento fluviale si associano intensi e diffusi processi di dissesto sui versanti, si raggiungono valori appartenenti alla VII, alla VIII ( $4000 < Tu < 6000$ ) e alla IX classe ( $Tu > 6000$ ).

La distribuzione e l'intensità dei processi di denudazione in questo settore trovano riscontro nello stato di organizzazione delle reti idrografiche; queste, infatti, sono generalmente poco gerarchizzate, fatta eccezione per i bacini di testata, dove il prevalere dell'approfondimento fluviale si associa a una migliore organizzazione del reticolo. Anche

i dati dell'analisi ipsometrica confermano le osservazioni suesposte: le curve ipsografiche dei bacini di testata (dal n. 21 al n. 24) sono espressive di condizioni morfodinamiche caratterizzate dalla marcata incisione fluviale; quelle dei bacini appartenenti alla restante parte del settore, invece, evidenziano che l'approfondimento fluviale e i processi di dissesto sui versanti, entrambi intensi, si uguagliano, producendo modificazioni geomorfiche verosimilmente più rapide.

L'intensa tettonizzazione che caratterizza tutto il settore montano favorisce certamente il verificarsi di fenomeni di dissesto diffusi. I numerosi fenomeni franosi osservati sono senza dubbio legati anche al marcato approfondimento operato dai corsi d'acqua, che sono assai frequentemente guidati da linee tettoniche. È da sottolineare, inoltre, che le frane di maggiori dimensioni si concentrano in corrispondenza dei grandi motivi tettonici che interessano l'area; tra tali disturbi il più significativo è il fronte di sovrascorrimento della dorsale di Carpineto Sinello, orientato circa in direzione NW-SE.

Nel settore mediano del bacino, esteso fino all'allineamento Monteodorisio-Scerni, si rinvengono sostanzialmente gli stessi processi di denudazione, consistenti prevalentemente in fenomeni franosi, già osservati nel settore montano; essi, tuttavia, hanno minore estensione e minore intensità. Anche per questo settore i dati dell'analisi geomorfica quantitativa forniscono indicazioni analoghe a quelle desunte dallo studio morfografico. Le variazioni areali dell'indice di erosione evidenziano come i valori di  $Tu$  siano generalmente elevati, soprattutto laddove ai già citati fenomeni franosi si affiancano i processi di dilavamento, che spesso si traducono in erosione calanchiva. È questo il caso, ad esempio, dei bacini drenati dal Torrente Cena e dal Vallone di Peschiola (rispettivamente, bacino n. 4 e n. 49 nella «Carta dell'indice di erosione», f.t.).

A conferma del minor dissesto del settore mediano rispetto a quello montano, si osserva come nel primo i valori dell'indice di erosione, seppure elevati, siano mediamente più bassi che nel secondo; tali valori, infatti, appartengono prevalentemente alla VII classe, mentre l'VIII classe, ben rappresentata nel settore montano, in prossimità della dorsale di Carpineto Sinello, è qui limitata a un bacino di dimensioni assai ridotte e comprendente una piccola zona totalmente dissestata. Come ulteriore convalida della rispondenza tra valori dell'indice di erosione e la distribuzione e intensità dei processi di denudazione, si può osservare che nel settore mediano i valori più bassi di  $Tu$  si riscontrano per bacini (n. 9, n. 42 e n. 50) nei quali il processo più efficace è rappresentato dall'approfondimento fluviale e che appaiono interessati da modificazioni morfologiche arealmente più limitate.

Analogamente a quanto visto per il settore precedente, anche per il settore mediano del bacino i valori relativi al grado di organizzazione delle reti idrografiche e i risultati dell'analisi ipsometrica sono in accordo con le osservazioni morfografiche. In particolare, le curve ipsometriche dei bacini parziali sono caratteristiche di zone nelle quali alla presenza dei movimenti franosi si aggiunge anche un intenso dilavamento sui versanti.

Anche nel settore mediano le condizioni tettoniche sem-

brano influenzare la diffusione e l'intensità dei processi di denudazione presenti. In particolare, si osserva che tanto il T. Cena che il T. Peschiola, i cui bacini si presentano fortemente dissestati, sono impostati lungo faglie orientate rispettivamente nelle direzioni N-S e ENE-WSW; tali linee tettoniche, la cui attività, come visto, si è protratta fino a tempi molto recenti, hanno certamente favorito l'approfondimento dei corsi d'acqua citati e le conseguenti condizioni di instabilità dei versanti.

Passando a esaminare il settore inferiore, caratterizzato da pendenze assai scarse, si osserva come tanto i processi sui versanti quanto l'approfondimento fluviale siano notevolmente ridotti. Il confronto con i dati ottenuti mediante l'analisi geomorfica quantitativa conferma la scarsa efficacia dei processi in atto in questa parte del bacino del Fiume Sinello.

I valori dell'indice di erosione sono decisamente più bassi che negli altri due settori; essi appartengono, infatti, alle prime tre classi ( $0 < Tu < 300$ ,  $300 < Tu < 600$  e  $600 < Tu < 900$ ). Le reti idrografiche sono generalmente poco disorganizzate e le curve ipsografiche parziali sono indicative di bacini nei quali processi sui versanti e l'approfondimento fluviale — entrambi scarsamente attivi — tendono a uguagliarsi. Unica eccezione è rappresentata dal bacino n. 1, in sinistra del Fiume Sinello: in questo caso, infatti, nonostante la scarsa diffusione e la modesta intensità dei processi in atto, si riscontra un valore dell'indice di erosione più elevato ( $900 < Tu < 1200$ ), una maggiore disorganizzazione della rete idrografica ( $ga = 8,14$ ) e una curva ipsografica tipica di un bacino non in equilibrio. Questa situazione è certamente favorita dalla presenza della dislocazione tettonica diretta NNW-SSE, lungo la quale è impostato il corso d'acqua principale; inoltre occorre tener presente che questo bacino parziale è impostato in un'area tettonicamente sollevata dalla vistosa dislocazione diretta N-S che condiziona lo scorrimento del T. Cena e quindi dello stesso Fiume Sinello nel suo tratto terminale.

## BIBLIOGRAFIA

- 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.
- BUONASORTE G., CICCACCI S., DE RITA D., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1991) - *Some relations between morphological characteristics and geological structure in the Vulsini Volcanic Complex (Northern Latium, Italy)*. Zeitschr. Geomorphol., Suppl. Bd. 82, 59-71.
- CAPUTO C., CICCACCI S., DE RITA D., FREDI P., LUPIA PALMIERI E. & SALVINI F. (1993) - *Drainage pattern and tectonics in some volcanic areas of Latium (Central Italy)*. Geol. Romana, 29, 1-13.
- CASNEDI R., CRESCENTI U. & TONNA M. (1982) - *Evoluzione dell'avanfossa adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene sulla base di dati del sottosuolo*. Mem. Soc. Geol. It., 24, 243-260.
- CENTAMORE E., CICCACCI S., DEL MONTE M., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1995) - *Morphological and structural arrangement of north-eastern Abruzzo (central Italy)*. Geomorphology, in press.
- CICCACCI S., D'ALESSANDRO L. & FREDI P. (1983) - *Sulla valutazione indiretta dell'intervento nei bacini lacustri: il lago artificiale di Scandarello (Rieti)*. Atti XXIII Congr. Geogr. It., 2 (3), 37-52.
- CICCACCI S., D'ALESSANDRO 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)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., Suppl. I, 171-188.

- CICCACCI S., D'ALESSANDRO L., FREDI P. & LUPIA PALMIERI E. (1992) - *Relation between morphometric characteristics and denudation processes in some drainage basins of Italy*. Zeitschr. Geomorphol., N.F. 36, 1, 53-67.
- CICCACCI S., DE RITA D. & FREDI P. (1988) - *Geomorfologia quantitativa e morfoneotettonica dell'area di Morlupo-Castellnuovo di Porto nei Monti Sabatini (Lazio)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., Suppl. I, 197-206.
- 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, (1980), 455-516.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E & PUGLIESE F. (1987) - *Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters*. International Geomorphology, II, Wiley & Sons, Chichester, 33-48.
- CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E & SALVINI F. (1986) - *An approach to the quantitative analysis of the relations between drainage pattern and fracture trend*. International Geomorphology, II, Wiley & Sons, Chichester, 49-68.
- CICCACCI S., FREDI P. & RAFFI R. (1985) - *Caratteristiche climatiche e geomorfologiche del bacino del Fiume Mignone*. In: Atti del Convegno «Esperienze di analisi e gestione di bacini idrografici». Provincia di Roma-Provincia di Viterbo-Università di Roma «La Sapienza», 24-77.
- CIVITELLI G. & SERVA L. (1980) - *Profilo geologico dai Monti del Matese al Mare Adriatico*. Rend. Soc. Geol. It., 3, 29-34.
- CLERMONTÈ J. (1977) - *La bordure abruzzaise sud-orientale et le haut Molise: histoire sédimentaire et tectonique comparée*. Riv. It. Paleont., 83, 1, 21-102.
- D'ALESSANDRO L. & PANTALEONE A. (1991) - *Caratteristiche geomorfologiche e dissesti nell'Abruzzo sud-orientale*. Mem. Soc. Geol. It., 37 (1987), 805-821.
- D'ARGENIO B. (1988) - *L'Appennino Campano-Lucano. Vecchi e nuovi modelli geologici tra gli anni sessanta e gli inizi degli anni ottanta*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 3-15.
- HORTON R.E. (1945) - *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. Am. Bull., 56, 275-370.
- LUPIA PALMIERI E. (1983) - *Il problema della valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Atti XXIII Congr. Geogr. It., vol. II - T. I., 143-176.
- MOSTARDINI F. & MERLINI S. (1986) - *Appennino centro meridionale - Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. 73° Congr. Soc. Geol. It., Roma, 30/9-4/10/1986, 1-59.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1991) - *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. Studi Geol. Camerini, volume spec. CROP 11, 417-441.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1967) - *Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000, F. 148 «Vasto»*, Firenze.
- STRAHLER A.N. (1952) - *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. Geol. Soc. Am. Bull., 1117-1142.
- STRAHLER A.N. (1954) - *Quantitative geomorphology of erosional landscapes*. C.R. 19th Intern. Geol. Cong. Algiers, Sect. 13, part 3, 341-354.